



THIAGO DE SOUZA SILVA

AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DE CRONOGRAMAS DE PROJETOS
POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO: UM ESTUDO DE
CASO NO DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS DE
PETRÓLEO

RIO DE JANEIRO
2025

THIAGO DE SOUZA SILVA

AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DE CRONOGRAMAS DE PROJETOS
POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO: UM ESTUDO DE
CASO NO DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS DE
PETRÓLEO

Dissertação apresentada à Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”, como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de Concentração: Estratégia em Organizações

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurelio Carino Bouzada

RIO DE JANEIRO
2025

CATALOGAÇÃO NA FONTE
AFYA UNIVERSIDADE UNIGRANRIO – BIBLIOTECA EUCLIDES DA CUNHA

S586a Silva, Thiago de Souza.

Avaliação probabilística de cronogramas de projetos por meio de simulação de Monte Carlo : um estudo de caso no descomissionamento de plataformas de petróleo / Thiago de Souza Silva. – Duque de Caxias, 2025.

71 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Administração) – Afya Universidade Unigranrio, Escola de Ciências Sociais e Aplicadas, Duque de Caxias, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurelino Bouzada.

Referências: f. 67-71.

1. Administração. 2.. Plataformas de perfuração - Descomissionamento 3. Simulação de Monte Carlo. 4. Pert. 5. Risco. I. Bouzada, Marco Aurelino. II. Afya Universidade Unigranrio. III. Título.

CDD – 658

Thiago de Souza Silva

**AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DE CRONOGRAMAS DE PROJETOS POR
MEIO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO: UM ESTUDO DE CASO NO
DESCOMISSIONAMENTO DE PLATAFORMAS DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada à Afya
Universidade Unigranrio, como parte dos
requisitos parciais para obtenção do grau
de Mestre em Administração.

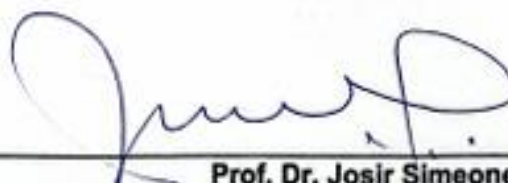
Área de Concentração:
Gestão Organizacional.

Aprovada em 23 de setembro de 2025.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCO AURELIO CARINO BOUZADA
Data: 08/10/2025 13:27:58-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Marco Aurélio Carino Bouzada
Afya Universidade Unigranrio



Prof. Dr. Josir Simeone Gomes
Afya Universidade Unigranrio -
UNIGRANRIO

Documento assinado digitalmente
gov.br VERANISE JACUBOWSKI CORREIA DUBEUX
Data: 08/10/2025 08:59:03-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Profa. Dra. Veranise Jacubowski Correia Dubeux
Escola Superior de Propaganda e Marketing -
ESPM

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO AUGUSTO GONCALVES
Data: 01/10/2025 12:34:29-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Augusto Gonçalves
Universidade Estácio de Sá -
UNESA

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde e pela oportunidade de chegar até aqui, iluminando meu caminho e fortalecendo-me diante dos desafios.

À minha família, pelo apoio incondicional, pela paciência nos momentos de ausência e pela motivação constante, sem os quais esta conquista não seria possível.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Marco Aurélio Carino Bouzada**, pela valiosa orientação, pela dedicação, pelos ensinamentos transmitidos e pela confiança depositada durante todo o desenvolvimento desta dissertação, que foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Aos colegas e amigos que, de diferentes formas, contribuíram para esta jornada, seja por meio do apoio técnico, acadêmico ou pessoal.

À Universidade do Grande Rio e a todos os professores que participaram da minha formação, pelo conhecimento compartilhado e pelas contribuições significativas ao meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste estudo, deixo registrado meu mais profundo reconhecimento e gratidão.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo validar a aplicação da Simulação de Monte Carlo na elaboração de cronogramas de projetos de descomissionamento de plataformas, bem como na avaliação de riscos associados a esse tipo de empreendimento. Considerando a elevada complexidade técnica, os custos expressivos e os potenciais impactos ambientais envolvidos nesse segmento de engenharia reversa, o estudo propõe uma abordagem probabilística em substituição às análises tradicionalmente conduzidas de forma determinística. Os resultados obtidos demonstraram que a Simulação de Monte Carlo apresenta maior capacidade de representar as incertezas inerentes às atividades de descomissionamento, permitindo estimativas mais realistas de prazos e riscos. Assim, o trabalho contribui tanto para o avanço acadêmico no campo da gestão de riscos em projetos complexos quanto para a prática profissional, ao oferecer subsídios que apoiam uma tomada de decisão mais precisa e fundamentada.

Palavras-chave:

Descomissionamento; Simulação de Monte Carlo; Pert; Riscos.

ABSTRACT

This dissertation aims to validate the application of Monte Carlo Simulation in the development of project schedules for offshore platform decommissioning, as well as in the assessment of the risks associated with such projects. Considering the high technical complexity, significant costs, and potential environmental impacts inherent to this type of reverse engineering, the study proposes a probabilistic approach as an alternative to the traditionally deterministic analyses. The results demonstrate that Monte Carlo Simulation has greater capacity to represent the uncertainties inherent in decommissioning activities, providing more realistic estimates of schedules and risks. Therefore, this work contributes both to the academic field, by advancing discussions on risk management in complex projects, and to professional practice, by offering insights that support more precise and informed decision-making.

Keywords:

Decommissioning; Monte Carlo; Simulation; Pert; Risks.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de Durações do Projeto de Descomissionamento Capixaba (Previsto x Real x Simulação de Monte Carlo).....	48
Tabela 2 - Comparativo de Durações do Projeto de Descomissionamento CDAN (Previsto x Simulação de Monte Carlo)	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática das instalações que estão dentro e fora do escopo do Programa de Descomissionamento do FPSO CDAN.....	36
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Investimentos Previstos para o Descomissionamento	17
Gráfico 2 - Faixa de idade das plataformas no Brasil por bacia	18
Gráfico 3 - Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI)	19
Gráfico 4 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de limpeza do sistema submarino	40
Gráfico 5 – Prontidão <i>Pull Out</i>	41
Gráfico 6 - Simulação de monte carlo aplicada na atividade campanha de <i>pull out</i> (incluindo o gasoduto)	42
Gráfico 7 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade despressurização, drenagem e limpeza da planta de processamento	43
Gráfico 8 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de limpeza de tanques	44
Gráfico 9 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de remoção e transportes de produtos químicos	44
Gráfico 10 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de desancoragem da plataforma	45
Gráfico 11 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de entrega da unidade	46
Gráfico 12 - Simulação de Monte Carlo aplicada no Projeto de Descomissionamento Capixaba (duração total do projeto).....	47
Gráfico 13 - Simulação de Monte Carlo aplicada na campanha de limpeza de linhas	52
Gráfico 14 - Prontidão desconexão de linhas	53
Gráfico 15 - Simulação de Monte Carlo aplicada na campanha de limpeza de linhas	54
Gráfico 16 – Prontidão para <i>Pull Out</i>	55
Gráfico 17 - Simulação de Monte Carlo aplicada na campanha de <i>pull outs</i>	56
Gráfico 18 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de despressurização, drenagem e limpeza de planta de processamento	56
Gráfico 19 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de limpeza de tanques	57
Gráfico 20 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de remoção e transportes de produtos químicos	58
Gráfico 21 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de desancoragem e saída da plataforma da locação	59
Gráfico 22 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de entrega da Unidade	60
Gráfico 23 - Simulação de Monte Carlo aplicada no Projeto de Descomissionamento Capixaba (duração total do projeto).....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivos	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	16
1.2. Delimitação	16
1.3. Relevância	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1. Projetos de Descomissionamento	20
2.2. Cronogramas de Projetos	22
2.3. Simulação de Monte Carlo	27
2.4. Simulação de Monte Carlo Aplicada a Cronogramas de Projetos	31
3. METODOLOGIA	34
3.1. Classificação da Pesquisa	34
3.2. Unidade de Pesquisa	35
3.3. Coleta de Dados	37
3.4. Tratamento de Dados	38
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	40
4.1. Implementação da Simulação de Monte Carlo para o Projeto Capixaba	40
4.1.1. Campanha de Limpeza do Sistema Submarino (Incluindo o Gasoduto)	40
4.1.2. Prontidão <i>Pull Out</i>	41
4.1.3. Campanha de <i>Pull Out</i>	42
4.1.4. Despressurização, Drenagem e Limpeza de Planta de Processamento	43
4.1.5. Limpeza de Tanques	44
4.1.6. Remoção e Transporte de Produtos Químicos	44
4.1.7. Desancoragem da Plataforma	45
4.1.8. Entrega da Unidade	46
4.1.9. Duração Total do Projeto de Descomissionamento Capixaba	47
4.1.10. Comparação de Resultados	48
4.2. Implementação da Simulação de Monte Carlo para o Projeto CDAN	51
4.2.1. Campanha de Limpeza de Linhas	52
4.2.2. Prontidão Desconexão de Linhas	53
4.2.3. Desconexões de Linhas	54
4.2.4. Prontidão para <i>Pull Out</i>	55
4.2.5. Campanha de <i>Pull Out</i>	56
4.2.6. Despressurização, Drenagem e Limpeza de Planta de Processamento	56
4.2.7. Limpeza de Tanques	57
4.2.8. Remoção e Transportes de Produtos Químicos	58
4.2.9. Desancoragem e Saída da Plataforma da Locação	59
4.2.10. Entrega da Unidade	60
4.2.11. Duração Total do Projeto de Descomissionamento CDAN	61
4.2.12. Comparação de Resultados	61
5. CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

Os projetos de exploração e produção de petróleo no mar, conhecidos como *offshore*, apresentam alta complexidade para implantação e demandam elevados investimentos em operação.

Quando se pensa em um projeto *offshore*, estima-se, geralmente, um período de vida de produção compreendendo um intervalo de 20 a 25 anos, o qual converge com o tempo das instalações submarinas responsáveis por essa produção, segundo a FGV Energia (2021).

Quando se perde a eficiência econômica do reservatório, ou seja, quando os custos de produção superam as receitas devido à queda do preço do petróleo, obsolescência de equipamentos, avanço da tecnologia ou declínio do fator de produção do reservatório após anos de extração, o descomissionamento deve ser iniciado. Essa é a última etapa no ciclo de vida de um projeto de exploração e produção de O&G (FGV, 2021).

Os gatilhos para que um projeto de descomissionamento ocorra são diversos e compostos principalmente por: o final de sua vida útil ou final da extensão de sua vida útil (EVU), projetos de revitalização de campos de exploração e motivações econômicas (FGV, 2021).

É notória a crescente demanda por projetos de descomissionamento no Brasil, principalmente em função do envelhecimento das plataformas, fato que pode ser confirmado pela quantidade de documentações protocoladas atualmente na ANP. Esse número gira em torno de 115 processos, dos quais: 97 estão aprovados, 14 foram recebidos, 9 estão em sobrestado e 5 estão encerrados (ANP, 2024).

Projetos de descomissionamento são de alta complexidade com envolvimento de diversos *stakeholders*, parada de produção definitiva, desmantelamento de sistemas submarinos complexos, corte e içamento de dutos flexíveis e rígidos, limpeza de linhas, abandono e arrasamento de poços, destinação adequada de materiais, resíduos, rejeitos, recuperação ambiental da área e devolução da locação (ANP, 2024).

O PDI se trata do Programa de Desativação de Instalações e envolve uma série de documentações e projetos, as quais devem ser anexadas ao PDI e protocolado nos órgãos reguladores, como IBAMA, MARINHA e ANP (ANP, 2024).

A Agência Nacional do Petróleo emitiu em abril de 2020 a resolução 817 (Regulamentação Técnica de Descomissionamento de Instalações de Exploração e

Produção), a qual define o Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI), como um documento apresentado pelo contratado cujo conteúdo deve incorporar as informações, os projetos e os estudos necessários ao planejamento e à execução do descomissionamento de instalações (ANP, 2024).

A ANP prevê um investimento de R\$ 57,1 bilhões de 2023 a 2027 e o abandono permanente de 6.995 poços (ANP, 2024). Ela determina a utilização a Análise de Decisão Multicritérios (*Multi Criteria Decision Analysis – MCDA*) para avaliação de critérios conflitantes nas tomadas de decisões no processo de desenvolvimento de projetos de descomissionamento, sendo eles: ambientais, econômicos, de segurança, sociais e técnicos (ANP, 2024).

De acordo com Aguiar *et al.* (2017), os aspectos multicritérios podem ser expressos resumidamente em 4 fases se apropriando da metodologia FEL (*Front-End-Loading*) de passagem de portões de aprovação. Esta metodologia divide o projeto em fases da iniciação até a sua conclusão, e determina as atividades que devem ser desenvolvidas em cada etapa tornando as informações do projeto maduras o suficiente para tomada de decisões (Aguiar *et al.*, 2017). Contudo, um adendo: na metodologia FEL diferentemente de um projeto de investimento, o descomissionamento não se tem a opção de não fazer o projeto.

As fases de um projeto de descomissionamento são divididas em quatro etapas: Conceitual, Definição, Execução e Encerramento. Na fase conceitual, são desenvolvidos o escopo do projeto, as estimativas iniciais de custos e prazos, além da seleção das melhores alternativas de execução. Na fase de definição, ocorre o refinamento do escopo, a elaboração de um orçamento mais preciso, a avaliação detalhada de riscos, a definição da estratégia de execução e a preparação da documentação para contratação de fornecedores. A fase de execução materializa todo o planejamento, assegurando que as atividades sejam realizadas conforme o previsto. Por fim, no encerramento, o projeto é finalizado com a emissão de relatórios finais, a verificação da destinação adequada de materiais e resíduos e a consolidação das lições aprendidas para aprimoramento de futuros projetos.

O método PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technique / Critical Path Method*) é uma técnica amplamente utilizada para o planejamento e controle de projetos, sendo especialmente indicada para projetos com produtos ou entregas únicas. Seu principal objetivo é estimar o tempo necessário para a conclusão de um

projeto, considerando a variabilidade inerente às atividades que o compõem (Martins e Laugeni, 2005).

Na aplicação do método PERT, a duração de cada atividade é determinada a partir de três estimativas temporais: duração otimista (A), duração mais provável (M) e duração pessimista (B). Com base nessas estimativas, calcula-se a duração média ponderada (T) da atividade, segundo a expressão: $T = (A + 4 \times M + B) \div 6$

Após a determinação de T para todas as atividades do projeto, aplica-se o algoritmo do CPM (*Critical Path Method*) para identificar o caminho crítico e determinar a duração total do projeto. Esse procedimento permite destacar as atividades que influenciam diretamente o prazo final, possibilitando um controle mais eficiente do cronograma e a adoção de medidas preventivas em caso de atrasos (Martins e Laugeni, 2005).

A técnica PERT utiliza um método de probabilidade chamado distribuição triangular, que se destaca pela simplicidade, pois através de sua aplicação obtém-se uma média. Portanto, a limitação que a técnica apresenta pode gerar resultados insatisfatórios à medida que as outras possíveis incertezas e complexidades não são consideradas no processo.

Exemplificando, nos casos em que mínimos e máximos possíveis das durações das atividades estão distantes, uma média desconsidera a variabilidade intrínseca nos enredamentos de um projeto envolto por incertezas.

Portanto, um projeto de descomissionamento pode ser bem afetado nesse caso, pois: (i) está cercado por complexidades das atividades que envolvem engenharia submarina (limpeza de Dutos, desconexão de linhas, *pull outs*, remoção e transporte de produtos químicos etc.) e as instalações de superfície (destinação de ignitores radioativos, tambores com rejeito NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material* - materiais presentes na natureza que contêm radionuclídeos, como urânio, tório e seus produtos de decaimento), desancoragem e recolhimento dos elementos de ancoragem e destinação da Unidade de Exploração de Petróleo), complexidades estas que podem gerar incertezas muito grandes; e (ii) ainda se debruça pelos proeminentes riscos de impactos ambientais e aumento significativo nos custos pela previsão distorcida de prazo que uma atribuição determinística da duração de uma atividade pode acarretar.

Uma das alternativas mais comuns para lidar com as limitações da técnica PERT, especialmente em projetos com maior complexidade e incertezas, como os de descomissionamento *offshore*, é a aplicação da Simulação de Monte Carlo. Essa

técnica permite incorporar variabilidades e incertezas nas durações das atividades, gerando distribuições de probabilidade que refletem cenários possíveis de conclusão do projeto, oferecendo uma visão mais realista e confiável dos prazos (KWAK; INGALL, 2009).

A simulação de Monte Carlo é modelo matemático que trabalha com um experimento amostral e seu principal objetivo é estimar a distribuição de resultados possíveis da variável de interesse, embasado em uma ou mais variáveis de entrada, as quais têm seu comportamento probabilístico de acordo com alguma distribuição estipulada (Evans e Olson, 1998). Nesse sentido, a Simulação de Monte Carlo se revela como uma alternativa eficaz pela sua capacidade de simular inúmeros cenários para as variáveis, atingindo uma distribuição de valores exequíveis. Segundo Rogers (2004), a simulação de Monte Carlo é reconhecidamente um modo de realizar simulações de cenários possíveis, onde sua premissa está na “geração de números aleatórios de acordo com parâmetros definidos para as variáveis que compõem o modelo a ser utilizado”.

Tendo em vista o grau de incertezas, complexidades e as especificidades tão singulares e intrínsecas aos Projetos de Descomissionamento, questiona-se a pertinência da utilização da técnica de Simulação de Monte Carlo na mensuração das durações das atividades inerentes aos cronogramas destes tipos projetos que são tradicionalmente abordados de forma determinística.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral consistiu em avaliar a aplicabilidade da técnica de Simulação de Monte de Carlo na fase conceitual de um Projeto de Descomissionamento de Instalações, a fim de lidar melhor com as incertezas que flertam com essa tipicidade de projeto em função de seu grau de complexidade, e conquistar maior assertividade nas estimativas de tempo, conseqüentemente reduzindo riscos de custos de operação mais elevados, impactos ambientais, entre outros aspectos que serão abordados nesta pesquisa.

1.1.2. Objetivos Específicos

Consideram-se os seguintes os seguintes objetivos específicos a serem alcançados nessa dissertação:

- Utilizar uma abordagem probabilística (Simulação de Monte Carlo) na fase conceitual do projeto, para que se possa lidar melhor com as incertezas e obter maior amparo nas decisões estratégicas da condução do projeto;
- Comparar resultados obtidos com a Simulação de Monte Carlo com o método PERT e as durações determinísticas previamente estabelecidas;
- Legitimar (ou não) a Simulação de Monte Carlo como método de estimativa factível de estimativa de duração de atividades mais assertiva dentro de um projeto real de descomissionamento.

1.2. Delimitação

Esta pesquisa de dissertação foi aplicada ao projeto de descomissionamento e destinação dos sistemas submarinos, incluindo dutos, umbilicais e equipamentos, da plataforma FPSO Cidade de Anchieta (CDAN), a ser desativada no campo de Jubarte, localizado na Bacia de Campos. Utilizou-se o FPSO Capixaba como estudo de caso para validar a aplicabilidade da Simulação de Monte Carlo, considerando a similaridade entre os projetos, uma vez que ambas as unidades são Flutuantes de Produção, Armazenamento e Transferência e apresentam semelhanças nos respectivos sistemas submarinos.

O FPSO CDAN tem sua parada de produção programada para 30/04/2030 (determinístico). Após a parada da produção do FPSO CDAN será realizado o condicionamento do sistema de superfície e do sistema submarino. Depois do *pull-out* e recolhimento de todos os risers, a UEP estará liberada para a sua desancoragem e saída da locação.

Para fins de histórico de projetos similares, necessário para as informações demandadas pela Simulação de Monte Carlo mencionadas anteriormente, o recorte temporal foi dos últimos 10 anos.

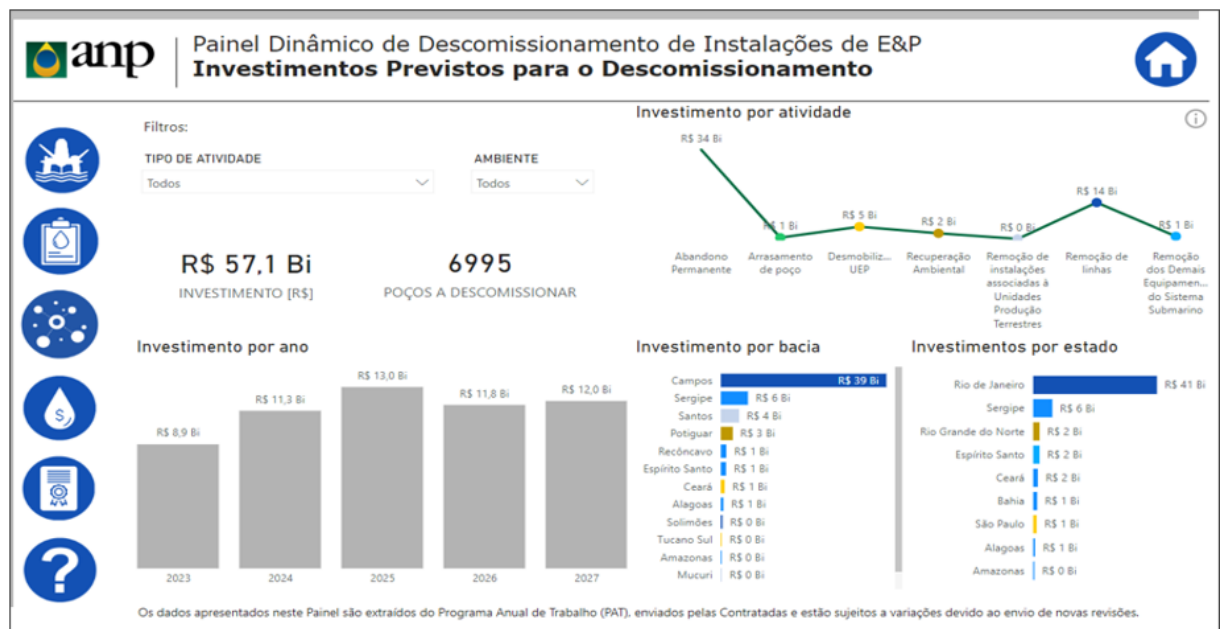
O cronograma utilizado neste estudo é uma linha do tempo que apresenta, de forma macro, as atividades operacionais previstas no PDI protocolado junto aos órgãos reguladores (ANP, Marinha e IBAMA). Ressalta-se que essas informações são públicas e podem ser consultadas nos sites dos respectivos órgãos.

1.3. Relevância

A relevância abrangeu alguns aspectos fundamentais para auxílio nas tomadas de decisões que norteiam os direcionadores estratégicos dos gestores de projetos de descomissionamentos, no que se refere a prazos assertivos, custos, riscos, entre outros.

Como pode ser observado na Gráfico 1, entre 2023 e 2027 a previsão de investimento (ou desinvestimento) é de R\$ 57,1 Bi com destaque para as atividades de abandono permanente e remoção de linhas, as quais estão previstas respectivamente para receberem R\$ 34,1 Bi e R\$ 14,1 Bi.

Gráfico 1 - Investimentos Previstos para o Descomissionamento



Fonte: ANP (2024)

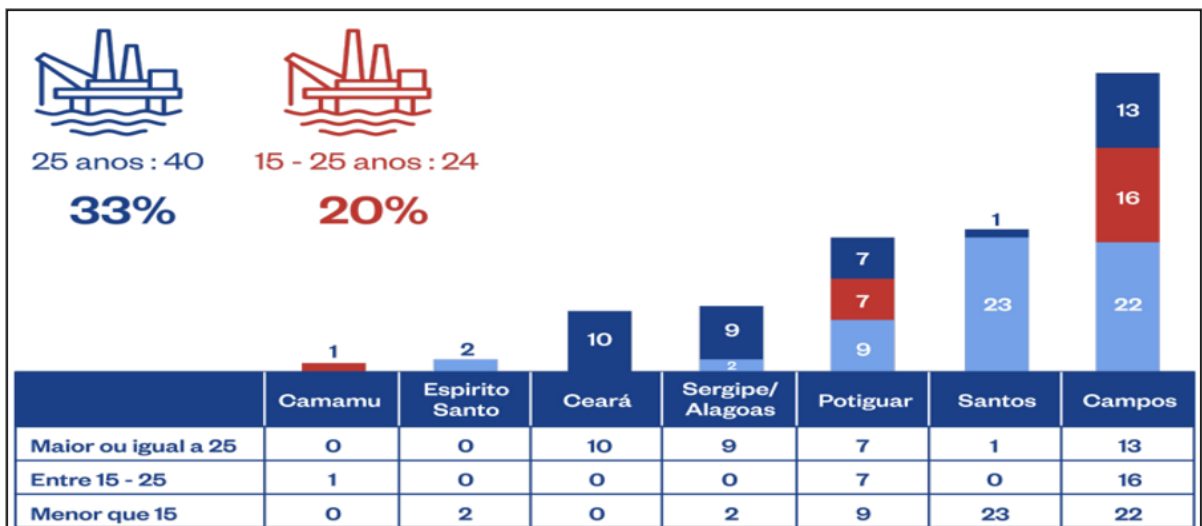
A presente dissertação apresentou uma proposta sólida de solução estatística para identificação do caminho crítico, priorização de atividades e melhor alocação de

recursos para que se possa realizar uma gestão do tempo e riscos mais eficaz para descomissionamento de ativos de produção de O&G.

Foram considerados extremamente relevantes os altos custos envolvidos para implantação de projetos de descomissionamento, ou seja, custos de desinvestimento, também conhecidos como ABEX. Além disso, falhas na gestão do tempo acarretam numa extensão de prazo da plataforma no mar, o que gera altíssimos custos de operação, também conhecidos como OPEX. Os valores passam do campo das centenas de milhões de dólares.

No Gráfico 2 é possível diagnosticar que há um número expressivo de plataformas e campos que estão em fim de vida útil indo ao encontro da desativação, o que fornecerá um novo campo de atividade: o desmantelamento.

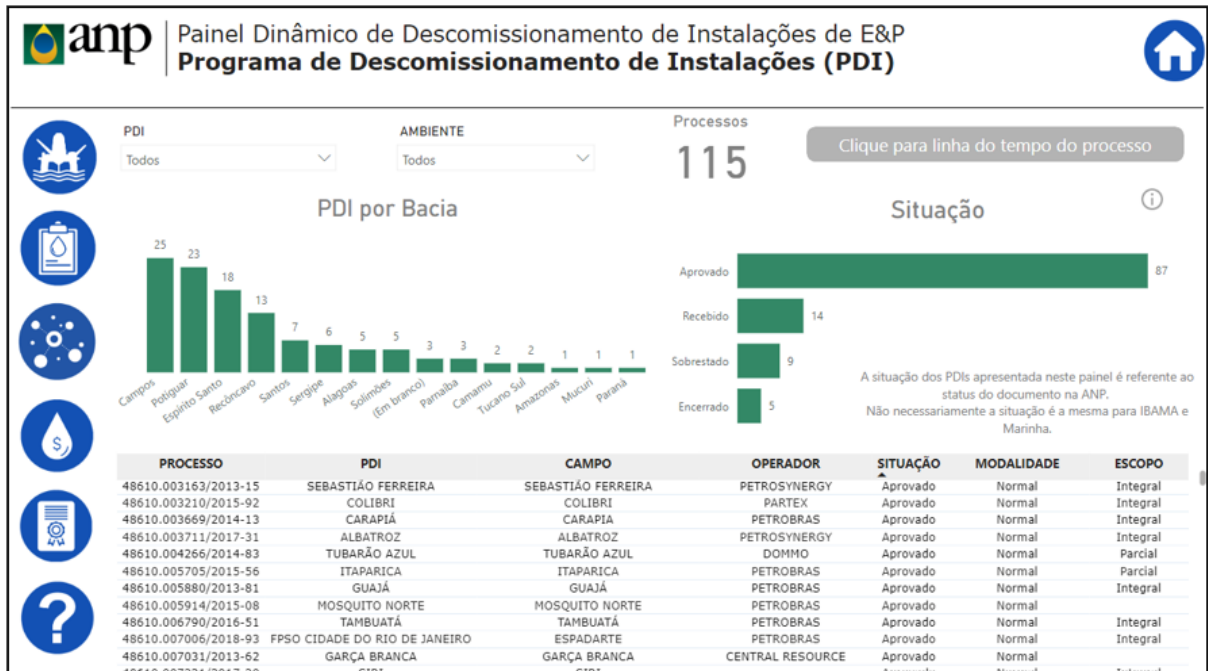
Gráfico 2 - Faixa de idade das plataformas no Brasil por bacia



Fonte: Caderno de Descomissionamento ANP/FGV, p. 22 (disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/cadernodedescomissionamento.pdf>) (adaptado)

No Gráfico 3 é demonstrada a quantidade de protocolos de Programas de Descomissionamentos de Instalações existentes na ANP. É notório que a demanda está alta e a previsão é que se tenha muitos desmantelamentos nos próximos anos.

Gráfico 3 - Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI)



Fonte: Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI)

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Projetos de Descomissionamento

A produção de óleo e gás no Brasil se concentra quase que em sua totalidade em campos de exploração instalados no mar. A maior petrolífera do país (PETROBRAS) tem uma concentração de mais de 90% da produção em poços marítimos (completação seca e molhada) e centenas de quilômetros de dutos (rígidos, flexíveis e umbilicais) submersos pelas águas salgadas dos mares que interligam mais de 140 plataformas (Nicolosi *et al.*, 2018; p.2).

O ciclo de vida de uma plataforma pode ser dividido pelas seguintes etapas: Sísmica e Levantamento de Dados Exploratórios, Perfuração e Completação de Poços, Delimitação da Jazida, Desenvolvimento da Produção e a última etapa é o Descomissionamento. Quando se pensa em projetos *offshore*, o planejamento aponta para uma projeção de produção que gira em torno de 20 a 25 anos de vida útil (EVU), e esse período converge com o ciclo de vida de suas instalações (FGV Energia, 2021). Contudo, esse ciclo de vida pode ser antecipado ou estendido a depender do exaurimento das reservas de óleo e gás, da inviabilidade econômica de continuidade da produção, pelo atingimento do prazo para exploração e desenvolvimento da concessão e até mesmo por motivações estratégicas do operador (Nicolosi *et al.*, 2018; p.2).

Segundo a ANP (2024), a definição de Descomissionamento é o conjunto de atividades associadas à interrupção definitiva da operação das instalações, ao abandono permanente e arrasamento de poços, à remoção de instalações, à destinação adequada de materiais, resíduos e rejeitos e à recuperação ambiental da área. O descomissionamento refere-se ao desmantelamento, descontaminação e remoção de equipamentos de processo e estruturas de instalações (Ruivo, 2001).

A ANP em sua resolução de nº 817, de 24 de abril de 2020, mais conhecida como RANP 817/20, rege o regulamento técnico sobre o descomissionamento no Brasil. A RANP 817/20, que passou por audiência pública, recebeu inúmeras sugestões de operadores, da sociedade e de entidades como Marinha e Ibama (ANP, 2024). Portanto, o interesse de todos os agentes envolvidos na atividade é grande, logo as informações disseminadas pela ANP têm essencial importância para que todos tenham fácil acesso a elas e estejam abastecidos de conhecimento suficientes para um bom planejamento estratégico e de mercado (Barbosa *et al.*, 2022; p. 2). Neste contexto, surgem duas grandes fontes de conhecimento: o Painel Dinâmico de Descomissionamento, que permite a consulta do inventário, bem como valores de investimento previstos para o descomissionamento, e a publicidade dos PDI's apresentados pelo contratado sob a RANP nº 817/2020 (Barbosa *et al.*, 2022; p. 2).

Num projeto de descomissionamento, há grandes desafios a serem enfrentados, principalmente no aspecto ambiental, nesse contexto é impossível não abordar a questão do coral sol, que é conhecido grosseiramente como “praga marinha”. O gênero *Tubastraea* é conhecido popularmente por coral-sol (*sun coral, cup coral, sun polyps*) sendo que duas espécies são registradas no litoral brasileiro: a *T. coccinea* (de cor vermelho-alaranjado) e a *T. tagusensis* (de cor amarela) segundo o IBAMA (2021). Essa espécie, não oriunda do Brasil, e ao que tudo indica os cascos dos navios serviram de transporte para sua introdução em águas nacionais (IBAMA, 2022).

Na década de 1980 foi realizado o primeiro registro dessa espécie em plataformas de petróleo na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, contudo nessa ocasião não se teve um aprofundamento dos estudos e maior controle sobre a recorrência de identificação e localização do coral sol nas instalações marítimas de produção de óleo e gás (IBAMA, 2022).

O coral-sol causa uma severa preocupação, pois é uma espécie devastadora que atropela a biodiversidade nativa, além disso sua alta capacidade reprodutiva pode acelerar o deslocamento de espécies nativas que possuem taxa reprodutiva inferior (IBAMA, 2022). Nos projetos de descomissionamento o problema coral-sol percorre alguns riscos, tais como: existência de incrustação de coral-sol nos *risers* e amarras de topo da UEP, presença de coral-sol casco da UEP e manejo inadequado do coral-sol no casco (em LDA rasa), onde os impactos negativos são diversos e vão desde muitas aplicadas pelos órgãos reguladores (no campo financeiro) quanto a propagação

impregnando nossos mares com essa espécie exótica que deteriora as espécies endêmicas.

Segundo *Toward a Sustainable Decommissioning of Offshore Platforms in the Oil and Gas Industry: A PESTLE Analysis* (2021), a adoção de práticas sustentáveis no descomissionamento de plataformas offshore requer a integração entre regulamentação, inovação tecnológica e responsabilidade corporativa. Dessa forma, a sustentabilidade depende da implementação de políticas públicas consistentes, do avanço de soluções tecnológicas e do comprometimento ético das empresas com a mitigação dos impactos socioambientais.

Para Pereira et al. (2025), o descomissionamento de plataformas *offshore* deve ser analisado sob uma perspectiva jurídico-ambiental, considerando alternativas que conciliem viabilidade técnica e sustentabilidade.

As práticas de descomissionamento de plataformas offshore devem ser conduzidas de forma a integrar sustentabilidade ambiental e eficiência operacional, assegurando a articulação entre engenharia, regulação e responsabilidade ambiental ao longo do ciclo final de vida das instalações (Zawawi et al., 2023).

2.2. Cronogramas de Projetos

Para o PMI, o *Project Management Institute* – PMI®, uma das maiores organizações do mundo (sem fins lucrativos), que reúne profissionais de gerenciamento de projetos e dissemina as boas práticas de gestão, a definição de projeto consiste em: “esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único” (*Project Management Institute*, 2017, p. 4):

Por serem temporários, os projetos têm, obrigatoriamente, início e término definidos, diferenciando-se de operações contínuas. Essa característica não indica, necessariamente, que sejam curtos ou longos, mas apenas que são iniciados, evoluem e, por fim, são finalizados. (*Promon Business and Technology Review*, 2008, p.5)

Muitos projetos consideram cronograma e orçamento, além da composição do escopo, como sendo peças cruciais do gerenciamento de projetos, pois através da gestão desses itens, garante-se a visibilidade de como o trabalho e os custos se dividem na linha do tempo. Geralmente, os projetos são fatiados em etapas, que por sua vez estão relacionadas com o escopo do projeto e a interface do que precisa ser

feito, dentro de um determinado período, gera a estratégia de execução do projeto. (Prado e Ladeira, 2014).

O PMBOK (PMI, 2017) indica que para a realização de um bom gerenciamento de cronogramas, existe alguns processos a serem inseridos e implementados, a fim de se garantir a pontualidade dos projetos. Estes processos são classificados da seguinte forma:

- **Planejar o Gerenciamento do Cronograma:** Definição de padrões e procedimentos, bem como toda documentação necessária para o gerenciamento, execução e controle do cronograma do projeto;
- **Definir as Atividades:** Definição dos relacionamentos e interdependência das atividades intrínsecas ao projeto;
- **Estimar as Durações das Atividades:** Definição dos tempos ou períodos das atividades;
- **Estimar as Durações das Atividades:** Definição da duração de cada trabalho que será executado para cumprimento do projeto;
- **Desenvolver o Cronograma:** Consolidação das relações, sequenciamento e durações das atividades, bem como recursos e restrições de modo a gerar o cronograma do projeto para monitoramento e controle;
- **Controlar o Cronograma:** Realização do acompanhamento e monitoramento do status do cronograma, identificando atrasos, antecipações e a gestão de mudanças na linha de base.

O gerenciamento do tempo tem por objetivo garantir o cumprimento de prazos estabelecidos em cada etapa de um projeto. Isso posto, a gestão controla possíveis atrasos em função do cumprimento do tempo de execução e da programação das atividades que compõe o projeto (Cândido *et al.*, 2012, p. 33).

Por intermédio da gestão de cronograma são identificadas as atividades que integram o projeto. Por isso, deve-se realizar seu correto sequenciamento em conformidade com a lógica de desenvolvimento do projeto, estimando as durações através da investigação de conhecimentos que forneçam subsídios às considerações de premissas, disponibilidade de recursos e restrições, para que ao final seja possível gerar o diagrama de barras na linha do tempo (Barcaui *et al.*, 2019).

Barcaui *et al.* (2019) explicam que a não utilização do termo “gerenciamento de tempo” deve ser respeitada, e a melhor referência é o gerenciamento de cronograma, pois, tecnicamente, não é possível realizar um gerenciamento do tempo. Isso porque o tempo está relacionado a algo permanente, estabelecido por convenção para ser apresentado nos moldes atuais (horas, dias, meses, anos etc.). O que se pode gerenciar são os movimentos ou ações associadas às atividades que compõem o cronograma dos projetos. Segundo os autores, existem características muito peculiares próprias do gerenciamento de cronogramas, tais como:

- É um subprocesso da elaboração do plano de gerenciamento do projeto;
- É a área mais facilmente percebida da gerência de projetos;
- Sofre relevante influência dos outros fatores do projeto.

Segundo o US GOA (*US Government Accountability Office, 2015*), para se alcançar um cronograma confiável aliado a qualidade devem ser aplicados no gerenciamento de cronogramas dez boas práticas. Estas dez melhores práticas em gerenciamento de cronogramas, por sua vez, não estão em uma ordem específica e não devem ser encaradas como uma série de etapas para o desenvolvimento do cronograma.

As dez melhores práticas associadas a um cronograma confiável e de alta qualidade para o US GOA (*US Government Accountability Office, 2015*) estão listadas a seguir:

1. **Identificar todas as atividades:** O cronograma deve refletir todas as atividades definidas na estrutura analítica do projeto (EAP);
2. **Sequenciar todas as atividades:** Todas as atividades devem ser sequenciadas e vinculadas respeitando sua interdependência, a fim de que o cronograma possa refletir um planejamento e as datas críticas cumpridas. Em particular, uma atividade predecessora deve começar ou terminar antes da sua sucessora. As restrições e atrasos de datas devem ser minimizados e justificados. Isto ajuda a garantir que a interdependência das atividades que coletivamente levam à conclusão de atividades ou marcos possa ser estabelecida e usada para orientar o trabalho e medir o progresso. Atribuir recursos a todas as atividades.
3. **Atribuir recursos a todas as atividades:** O cronograma deve conter todos os recursos, principalmente os críticos, tais como: mão-de-obra,

materiais, viagens, instalações, equipamentos e similares. Deve-se analisar se estarão disponíveis quando necessário e quaisquer restrições de financiamento ou de tempo.

4. **Estabelecer a duração de todas as atividades:** O cronograma deve apresentar de forma realista a duração de cada atividade. Quando se usar uma duração, devem ser observados dados históricos e projetos similares para orientação. As durações devem ser razoavelmente curtas e significativas e devem permitir uma medição discreta do progresso.
5. **Verificar se o cronograma pode ser traçado horizontal e verticalmente:** O cronograma deve ser rastreável horizontalmente, num sentido de ser possível a vinculação de produtos e resultados associados a outras atividades sequenciadas. O cronograma também deve ser rastreável verticalmente. Quando os cronogramas são rastreáveis verticalmente, os cronogramas de nível inferior são claramente consistentes com os cronogramas de nível superior.
6. **Confirmar se o caminho crítico é válido:** O cronograma deve identificar o caminho crítico (o caminho de maior duração na sequência de atividades) do projeto. A definição de um caminho crítico válido é essencial é para se identificar os efeitos de um eventual desvio de qualquer atividade ao longo deste caminho.
7. **Garantir uma folga total razoável:** O cronograma deve identificar folga total razoável, no sentido de verificar qual a quantidade de tempo que uma atividade predecessora pode atrasar sem que essa altere a data prevista de término do projeto. Como regra geral, as atividades com caminho crítico muito longo têm a menor folga. A folga total excessivamente alta em uma atividade ou caminho indica que a lógica do cronograma pode estar ausente ou ser inválida.
8. **Realizar uma análise de risco do cronograma:** A análise de riscos do cronograma se inicia pelo caminho crítico do projeto. Os dados sobre os riscos do calendário do programa são incorporados numa simulação estatística para prever o nível de confiança no cumprimento da data de conclusão de um projeto. Os projetos devem incluir os resultados da

análise de risco do cronograma na construção de um cronograma de linha de base executável.

9. **Atualizar o cronograma usando o progresso e a lógica reais:** As atualizações e a lógica do progresso fornecem uma previsão realista das datas de início e conclusão das atividades do programa. Manter a integridade da lógica do cronograma é necessário para refletir o verdadeiro status do projeto.
10. **Manter uma linha de base:** A linha de base é definida como alvo a ser alcançado e o desempenho do projeto é medido, monitorado e relatado em relação a esse cronograma de referência. O monitoramento deve ser contínuo para revelar quando as datas de conclusão previstas diferem das datas previstas na linha de base.

Das dez melhores práticas recomendadas pelo US GOA, estimar a duração é uma das etapas mais difíceis e complexas no desenvolvimento de um cronograma. Contudo, como o próprio nome ilustra, trata-se de uma estimativa, logo não existe certeza. Para Barcaui *et al.*, (2019), diversos fatores devem ser considerados para se obter uma estimativa mais coerente assertiva, como, por exemplo, os riscos: ameaças e oportunidades devem ser analisadas e ponderadas, bem como competência e produtividade dos recursos envolvidos e a sua curva de aprendizagem.

Ainda segundo Para Barcaui *et al.*, (2019), responder à questão “qual a duração correta da atividade?” ou “quanto tempo levará?” com maior precisão envolve aspectos complexos diante da exposição as luzes das incertezas. A AACE (*Association for the Advancement of Cost Engineering*), em sua recomendação 32R-04 (AACE, 2012), apresenta métodos para determinar a duração original das atividades através da análise de dados de projetos passados com dados de desempenho futuro previstos e incorpora uma análise iterativa do efeito das restrições na duração da atividade.

Uma das técnicas mais usadas para se estabelecer durações de atividades em cronogramas de projeto é a PERT/CPM. O PERT (*Program Evaluation Review Technique*) teve seu desenvolvimento originado num projeto da Marinha Americana e indica a utilização de estatística para se obter previsões (Moreira, 2008). O *Critical Path Method* (CPM), mais conhecido como Método do Caminho Crítico, foi criado no mesmo período que o PERT pela empresa *Dupont*, em função da *Lockheed Aircraft Corporation*, essa, por sua vez, atuava com projetos de aviões bombardeiros e

programas aeroespaciais da NASA. O CPM nasceu da necessidade de melhorias de seu programa de manutenção. Nesse método, conhecia-se os valores médios das operações e era fundamentado na teoria dos grafos (AVILA; JUNGLES, 2013).

Para Moreira (2008), essa técnica tem sua aplicação em projetos, os quais são providos de estimativas de tempo contempladas por incertezas, portanto não são determinísticas. A vista disso, a duração de cada atividade que consolida o projeto é realizada a partir de três estimativas de tempo: Estimativa otimista, Estimativa pessimista e Estimativa mais provável. A utilização da técnica PERT/COM possibilita a equipe de projeto uma visualização gráfica das atividades, da estimativa do tempo total projeto, do caminho crítico e as eventuais folgas existentes, segundo Tubino (2017).

Segundo Carvalho e Rabechini Jr. (2018), a metodologia PERT/COM tem um viés determinístico para se estimar durações de atividades, o que não garante assertividade e certeza de que há chance coerente de se atingir o prazo determinado. A técnica não observa que a execução de uma atividade afeta outras, portanto, o cálculo de cada atividade só é realizado através de média oriunda de três estimativas: mais provável, otimista e pessimista.

2.3. Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo é um método caracterizado por sua simplicidade e eficiência, proporcionando uma forma de resolução de equações com distribuições de probabilidade. Segundo Schuyler (2001), trata-se de uma técnica estocástica que utiliza amostragem aleatória para calcular distribuições de probabilidade dos resultados de um projeto, permitindo avaliar riscos e incertezas de forma quantitativa.

A Simulação de Monte Carlo é uma técnica caracterizada por sua simplicidade e eficiência, proporcionando uma forma de resolução de equações com distribuições de probabilidade. Segundo Ratick e Schwarz (2009), essa abordagem permite resolver problemas ou modelos matemáticos que são complexos ou exigem muitos recursos para serem resolvidos analiticamente. Em vez de um tratamento direto ou determinístico, a técnica oferece uma aproximação da solução por meio de experimentos de amostragem estatística, adotando uma perspectiva probabilística para diversas questões.

O nome de origem "Monte Carlo", como seu próprio nome indica, teve origem em referência aos jogos de azar que utilizam métodos como sorteio e de dados, jogos que eram populares na cidade de Monte Carlo, Mônaco (Metropolis, 1987). O termo Monte Carlo teve sua utilização iniciada no andamento da Segunda Guerra Mundial, com um viés de resolução de problemas de simulação ligados ao desenvolvimento da bomba atômica (Metropolis e Ulam, 1949).

A Simulação de Monte Carlo pode ser considerada, essencialmente, como uma série de lançamentos de moeda [...]” (Harrison, 2010, p. 1). Essa analogia está associada às inúmeras variáveis aleatórias que compõem um evento qualquer. “A ideia de usar a aleatoriedade de forma determinante foi revolucionária” (HARRISON, 2010, p. 1).

Segundo Ratick e Schwarz (2009), essa técnica estatística (Simulação de Monte Carlo) é dependente de realizações de uma função densidade de probabilidade. Para Harrison (2010), o funcionamento da Simulação de Monte Carlo se dá por meio de amostragem aleatória e modelagem estatística para conquistar similaridade de sistemas complexos.

Com uma utilização voltada para avaliação interativa de um modelo determinístico, o método de Monte Carlo desfruta de números aleatórios como entradas e é mais usual a medida em que a complexidade, ou não, ou quando se é provido por grande quantidade de incertezas (Lima *et al.*, 2008).

Ratick e Schwarz (2009) entendem que a aplicação do métodos de Monte Carlo abrange diversos aspectos, que incluem, por exemplo, ciência (computação de integrais multidimensionais e análise de sensibilidade de modelos), educação (ensino e pesquisa), negócios (gestão de portfólio, análise do ciclo de vida do produto), meio ambiente (risco probabilístico avaliação e alocação de recursos), saúde (prestação de serviços e epidemiologia), governo (escolha de projetos e definição de padrões), engenharia (concepção e gestão de projetos) e energia (gestão de serviços públicos e métodos para produção de hidrogénio).

De acordo com Harrison (2010), no século XVIII um importante cientista francês chamado Georges Louis LeClerc usou métodos aleatórios em diversas pesquisas, sendo a mais famosa intitulada “agulha de Buffon”. O estudo LeClerc usou lançamentos repetidos de agulha em um fundo alinhado para estimar π . Ficou provado que ao se jogar uma agulha de 4 cm de comprimento num assoalho feito de tábuas, a

probabilidade de a agulha cruzar uma das junções era $2/\pi$. Muitos consideram a experiência de LeClerc como uma primeira instância da Simulação de Monte Carlo.

Ainda segundo Harrison (2010), houve um amadurecimento da utilização da simulação no fim do século XIX e XX para fins experimentais de confirmação de teorias, análise de dados e até mesmo como complemento de estatísticas matemáticas. No início do século XIX, um matemático americano chamado Erastus Lyman De Forest usou um baralho de cartas especialmente rotulado para desenvolver e testar um método de suavização de tábuas de mortalidade. No início do século XX, GH Darwin (filho de Charles Darwin), advogado e astrônomo inglês, usou um botão giratório em um algoritmo para suavizar curvas. Ainda no início do século XX, F. Galton (sobrinho de Charles Darwin) descreveu um método de simulação geral usando dados modificados para gerar uma distribuição normal. Já em meados do século XX, WS Gosset, William, químico e estatístico inglês, usou cartões rotulados para ajudar a desenvolver e testar o teste t, um meio de testar a significância estatística da diferença entre duas médias amostrais (Harrison, 2020).

Para Zuccolotto e Colodeti (2005), com relação à Simulação de Monte Carlo, o processo da metodologia se dá pelas variáveis que são identificadas e serão geradas de uma forma totalmente aleatória. O início ocorre com a definição das variações de entrada, sendo sua identificação constantes ou que são variantes de outra forma. As variáveis possíveis de serem identificadas são as que dependem das que serão geradas aleatoriamente. Por meio desta variante, temos uma relação proporcional entre elas, que a cada vez que for gerada aleatoriamente os valores, as variáveis que são identificadas como as independentes terão de forma automática os seus valores calculados.

Após a identificação de cada variável, inicia-se a geração de números aleatórios, respeitando a faixa adotada para cada variável de entrada. A tecnologia computacional desenvolve essa simulação, permitindo que os resultados sejam apresentados de diversas formas, incluindo sumários de estatísticas descritivas e gráficos. Após gerar os valores de referência de entrada, os valores das variáveis de saída são calculados automaticamente por meio das interações entre as variáveis. Cada série gerada apresenta números que podem ocorrer, e esse evento geram uma variável de saída que deve ser registrada para que se possa verificar posteriormente a interferência das variáveis de saída (Zuccolotto e Colodeti, 2005).

Segundo Brealey e Myers (2000), a Simulação de Monte Carlo é capaz de suplantiar a lógica de cenários, por ser capaz de gerar inúmeros cenários distintos, combinando valores das variáveis principais, normalmente através de *softwares* que geram esses cenários automaticamente. Isso posto, ao contrário de estimar cenários, deve-se realizar a previsão de variação de cada causa de incerteza, na forma de sua distribuição de probabilidades. Na sequência, o programa começa a formar amostras das variáveis, fundamentado em suas distribuições, e calcula o resultado do modelo pretendido. No desenvolvimento de amostragem aleatória, o cálculo do resultado pode ser repetido por centenas de milhares de vezes, ao ponto de simular as variações do resultado com base nas distribuições de probabilidades das variáveis.

Segundo Harrison (2010) há alguns pontos cruciais a serem considerados na definição de um modelo na Simulação de Monte Carlo, entre eles:

- Quais os resultados desejados?
- Para que serão utilizados os resultados?
- Qual a precisão os resultados precisam ter?
- Como exatamente podemos/devemos modelar?
- Como exatamente podemos/devemos definir as entradas?
- Como modelamos os processos subjacentes?

A aplicação da técnica de Monte Carlo é bem abrangente, inclusive no campo financeiro. Na pesquisa realizada por Cardoso e Amaral (2000), acerca da aplicabilidade da simulação de Monte Carlo para elaboração de fluxo de caixa empresarial, identificou-se que a técnica é mais difícil de ser interpretada frente aos modelos tradicionais de orçamentos. Contudo, diante das incertezas que tornam os diversos setores empresariais inseguros, a possibilidade de antever como essas variáveis impactam o resultado do negócio é essencial para o futuro de uma organização (Cardoso e Amaral, 2000).

Ainda estendendo o olhar para o aspecto financeiro de projetos, segundo Lima *et al.*, (2008), a utilização da metodologia de Monte Carlo é uma possibilidade factível para análise de viabilidade de projetos, pois atua num campo de redução de incertezas, sem acréscimo de custo e tempo, tão somente requerendo conhecimentos estatísticos e análise dos resultados. Logo, os autores concluíram que:

Modelos determinísticos tendem a ser substituídos pelos probabilísticos, e o nível de incerteza no processo de decisão reduzirá. Esta redução, por sua vez, proporcionará benefícios para o processo de tomada de decisão no gerenciamento de projetos. (Lima *et al.*, 2008, p.12)

A Simulação de Monte Carlo tem se mostrado cada vez mais eficaz e abrangente em diversas áreas. No campo da engenharia e economia florestal, Gonçalves, Oliveira e Carvalho (2017) realizaram um estudo sobre a aplicação dessa técnica para determinar a rotação econômica de plantações de eucalipto em três diferentes sítios produtivos, levando em consideração condições de risco. Segundo os autores, a metodologia da simulação de Monte Carlo demonstrou ser uma “ferramenta eficiente e eficaz quando aplicada à análise das rotações de plantações florestais de eucalipto para a produção de celulose, especialmente sob condições de incerteza” (Gonçalves, Oliveira e Carvalho, 2017, p. 1346).

Além disso, eles destacam que a Simulação de Monte Carlo oferece vantagens significativas, pois permite prever a rotação econômica diante das variações nas variáveis de risco, em vez de depender de uma estratégia fixa de corte baseada em um valor fechado. Dessa forma, os tomadores de decisão têm acesso a informações mais precisas, o que possibilita uma melhor definição da estratégia de corte da floresta de corte.

2.4. Simulação de Monte Carlo Aplicada a Cronogramas de Projetos

A variabilidade do projeto pode ser estimada durante a fase de planejamento por meio de simulações de Monte Carlo a partir das distribuições de probabilidade da atividade; portanto, existe uma ‘variabilidade planejada ou esperada’ do projeto em qualquer momento durante a execução do projeto. Como consequência, os atrasos no projeto podem estar, a qualquer momento, dentro ou fora desta variabilidade (Acebes *et al.*, 2013, p. 183).

A Simulação Monte Carlo apresenta respostas de teor probabilísticos, por exemplo, ao se executar uma simulação para realizar a estimativa do período de duração de uma atividade, a resposta para essa simulação é a probabilidade dessa atividade ser finalizada no tempo determinado. Ela excede as respostas estritamente binárias. Com a utilização de números aleatórios ela simula os eventos estocásticos que podem vir a interferir no período de duração das atividades. (Nascimento e Weslei, 2019, p. 12)

A Simulação de Monte Carlo proporciona a equipe de projeto um conhecimento estatístico acerca da duração final e do custo do projeto. Logo, é possível realizar o cálculo do custo máximo com muita confiabilidade no resultado. Esse nível de confiança também se estende às distribuições de cronograma. Entretanto, os líderes de projetos não podem esperar a finalização do projeto para confirmar se o projeto terminou “estatisticamente dentro do prazo”, pois no decorrer do projeto algumas ações precisam ser tomadas para que se alcance decisões mais assertivas (Acebes *et al.*, 2013).

A Simulação de Monte Carlo utiliza distribuições de probabilidade, principalmente distribuições Beta, para representar a variável, e no caso de cronogramas, a duração da atividade. As distribuições Beta podem ser definidas com três valores para cada entrada: o valor mais provável, o valor pessimista e o valor otimista. Resumidamente, números aleatórios são usados para extrair uma estimativa de duração de cada distribuição de duração de atividade, resultando em uma execução de projeto concluída. Os cálculos do caminho crítico são realizados para essa execução para determinar a duração do projeto. Várias execuções são feitas e a duração do projeto de cada execução é combinada para definir uma função de distribuição de probabilidade para o resultado do projeto. (Nasir; McCabe; Hartono, 2003, p. 2).

A análise por meio da Simulação de Monte Carlo fornece resultados que podem ser interpretados em termos probabilísticos, permitindo que os gestores compreendam a probabilidade de ocorrência de diferentes cenários de prazo e custo. Dessa forma, a técnica não se limita a apresentar valores únicos, mas traduz os riscos em distribuições que auxiliam na tomada de decisão (Bent e Humphreys, 1996).

Segundo Teixeira (2015), a combinação das ferramentas PERT/CPM e simulação de Monte Carlo permite uma análise probabilística das durações das atividades, identificando caminhos críticos e proporcionando uma gestão de cronograma mais precisa.

A autora destaca que a distribuição Beta, utilizada no método PERT, é limitada, pois não representa adequadamente a variabilidade real dos tempos de execução das atividades, podendo levar a conclusões imprecisas (Teixeira, 2015).

Portanto, a integração da simulação de Monte Carlo com o PERT/CPM oferece uma abordagem mais robusta para o planejamento e controle de projetos, considerando as incertezas associadas às estimativas de tempo (Teixeira, 2015).

Segundo Leal e Oliveira (2011), a aplicação da Simulação de Monte Carlo no gerenciamento de cronogramas envolve a geração de valores pseudo-aleatórios para os tempos de execução das atividades, de acordo com suas distribuições de probabilidade características.

“Os projetos de construção são de natureza complexa e têm muitas incertezas inerentes. Estas incertezas não decorrem apenas da natureza única do projeto, mas também da diversidade de recursos e atividades” (Nasir; McCabe e Hartono, 2003, p. 1), o que reforça a necessidade de metodologias capazes de lidar com riscos e variáveis múltiplas, como a Simulação de Monte Carlo.

Segundo Leal e Oliveira (2011), a Simulação de Monte Carlo tem sido cada vez mais aplicada em eventos de gerenciamento de projetos de construção civil, desenvolvimento de *softwares*, projetos de mineração e da indústria de óleo & gás. A metodologia apresenta perspectivas promissoras, sendo utilizada na fase de planejamento para avaliação de construtibilidade em obras e plantas industriais, fornecendo maior visibilidade sobre os desafios desses projetos.

Segundo Júnior, Dantas e Machado (2013), a aplicação da Simulação de Monte Carlo no gerenciamento de cronogramas pode resultar em melhorias significativas no controle de prazos e custos de projetos. No entanto, ressaltam que a eficácia dessa técnica depende da construção de um modelo adequado que permita uma utilização apropriada da simulação.

De acordo com Oliveira, Schramm e Schramm (2019), a aplicação da Simulação de Monte Carlo em projetos de construção civil pode melhorar o desempenho de prazos e fornecer intervalos de certeza mais precisos quanto ao término do projeto. Além disso, destacam a importância de combinar a metodologia PERT com a Simulação de Monte Carlo, pois o entendimento do caminho crítico é fundamental para o sucesso do projeto.

Para Abreu e Amorim (2017), em estudo realizado acerca do gerenciamento de riscos em projetos de software com uso da metodologia de Monte Carlo, a SMC não garante previsão do futuro com 100% de certeza sobre os eventuais acontecimentos, entretanto, fornece subsídios para que se tome decisões mais assertivas com relação ao projeto. Ainda nesse sentido, segundo os autores Abreu e Amorim (2017), a técnica demonstrou grande potencial para estimar a duração de projeto com eficiência e eficácia, fornecendo estimativas e parâmetros, que alimentam as ações dos tomadores de decisão.

A simulação pode ser destacada pela sua rapidez, precisão, e principalmente, por apresentar as informações de diversas formas, que auxiliam a interpretação do sistema simulado, sem a necessidade de um vasto conhecimento gerencial, estatístico ou computacional. (Abreu e Amorim, 2017, p. 68)

Segundo Laudares (2019), a aplicação da Simulação de Monte Carlo (SMC) na análise de riscos quantitativos em processos de aquisições logísticas de defesa demonstrou eficácia na previsão de prazos. O autor destaca que, ao comparar as estimativas obtidas com a SMC com casos reais, observou-se uma aproximação significativa, superando as previsões baseadas em médias. Além disso, Laudares ressalta que a SMC oferece maior assertividade na previsão de prazos em processos licitatórios, quando comparada a metodologias empíricas tradicionais.

A consideração da variabilidade nas durações das atividades é essencial para compreender e gerenciar atrasos em projetos. Vanhoucke (2013) destaca que a análise de risco de cronograma por meio de simulação – especialmente com o uso da Simulação de Monte Carlo — permite calcular métricas de sensibilidade que refletem a relação entre a variabilidade nas estimativas de duração das atividades e a variabilidade total da duração do projeto

Segundo Barboza (2017), a combinação do Método Monte Carlo com os métodos PERT/CPM e PERT-Risco pode gerar resultados semelhantes, mas em projetos onde o tempo é um fator crítico ou em contratos com penalidades ou bônus relacionados ao prazo, essa combinação pode ter efeitos significativos.

3. METODOLOGIA

3.1. Classificação da Pesquisa

Segundo Vergara (2000), com relação aos fins de uma pesquisa, a classificação pode ser seguindo as seguintes naturezas: Exploratória, Descritiva, Explicativa, Metodológica, Aplicada e Intervencionista.

O presente trabalho ilustrou uma abordagem aplicada, ou seja, voltada para resolução de problemas concretos e práticos.

No campo dos meios da investigação, de acordo com Vergara (2000), a pesquisa pode apresentar as seguintes formas: pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, pesquisa telematizada, investigação documental, pesquisa bibliográfica,

pesquisa experimental, investigação *ex post facto*, pesquisa participante, pesquisa-ação e estudo de caso.

Para essa pesquisa foi adotado o estudo de caso, o qual pode ser definido como: circunscrito a uma ou poucas unidades (pessoas, produtos, empresas), aprofundado e detalhado.

3.2. Unidade de Pesquisa

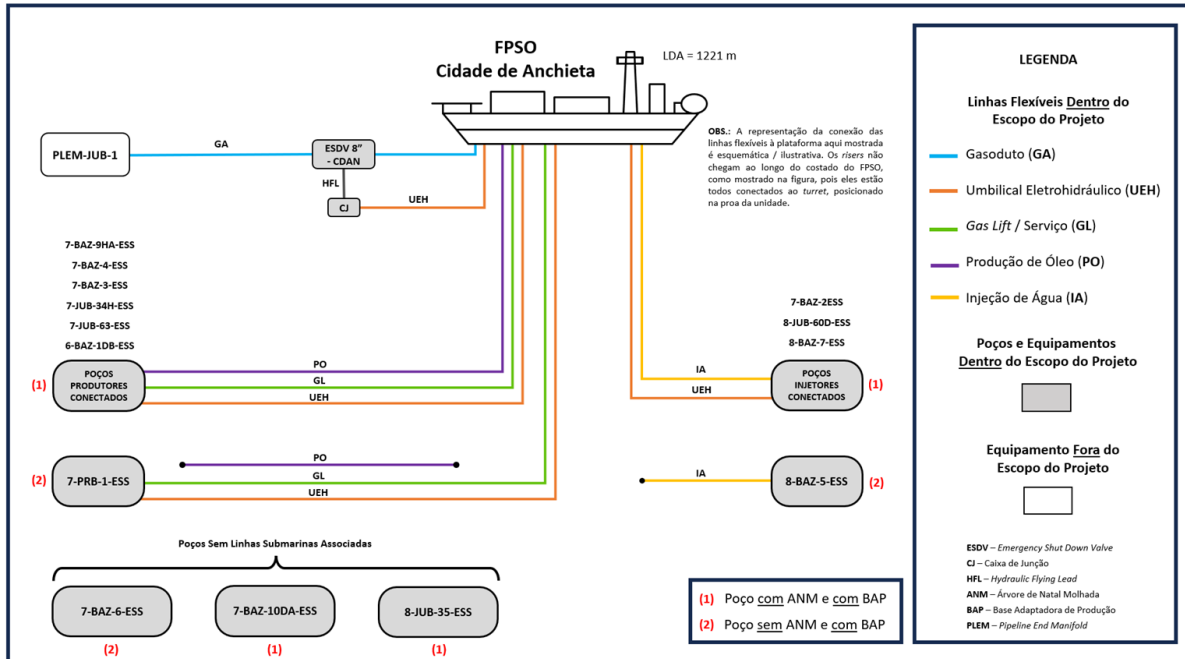
O projeto alvo de estudo nesta pesquisa tratou-se do descomissionamento da Plataforma o FPSO Cidade de Anchieta (FPSO CDAN), que é uma unidade afretada da empresa SBM *Offshore*, em operação desde 2012. A unidade é de propriedade e operada pela SBM, desempenhando um papel fundamental na produção e processamento de petróleo e gás na Concessão de Jubarte.

O descomissionamento do FPSO CDAN está motivado pela proximidade do término do contrato de afretamento previsto para 2031. O encerramento do contrato de afretamento é um dos principais gatilhos para o início do planejamento do descomissionamento.

FPSO CDAN faz parte do Sistema de Produção do Campo de Jubarte, e atualmente conta com 28 linhas flexíveis que conectam à plataforma aos poços/equipamentos (risers), responsáveis pelas interligações dos poços e de um gasoduto de exportação, o qual está conectado à malha de escoamento de gás na região (Malha do Gasoduto Sul/Norte Capixaba).

A Figura 1 mostra as instalações que estão no escopo do Programa de Descomissionamento da Unidade, as quais são detalhadas nos capítulos seguintes deste PDI Conceitual. Sobre esta figura, destaca-se que:

Figura 1 - Representação esquemática das instalações que estão dentro e fora do escopo do Programa de Descomissionamento do FPSO CDAN.



Fonte: ANP (2025)

O sistema submarino associado ao FPSO CDAN compreende 14 poços cujo intervalo de produção fica abaixo do nível do mar (completação molhada), dos quais 11 linhas estão interligadas diretamente na unidade. Além disso, pode ser observado na Figura 1 que o escopo do abrange 30 linhas submarinas, todas do tipo flexível (dutos e umbilicais), não havendo dutos rígidos a descomissionar.

Há uma válvula de segurança, chamada ESDV (sigla em inglês para *Emergency Shut Down Valve*), instalada em linha no gasoduto, próxima ao FPSO (Floating Production Storage and Offloading, ou Unidade Flutuante de Produção, Armazenamento e Transferência). Essa válvula é acionada por um umbilical conectado por meio de um HFL (*Hydraulic Flying Lead*), que é um conjunto flexível de tubulações hidráulicas.

A extremidade do umbilical está conectada a uma Caixa de Junção (CJ), que serve como interface entre o umbilical e o HFL. O PLEM-JUB-1 (*Pipeline End Manifold - Jumper*), que é um conjunto de conexões finais do gasoduto, não está incluído no escopo do descomissionamento e continuará em operação, pois está integrado à malha regional de escoamento de gás.

O projeto de descomissionamento da CDAN segue o conceito da metodologia FEL de passagens de fases, as quais são classificadas como:

- **Conceitual:** É analisada as alternativas de descomissionamento possíveis (destinação final das instalações e operações de descomissionamento), identificando os impactos decorrentes.
- **Definição:** É detalhada a alternativa de descomissionamento selecionada na fase conceitual.
- **Execução:** É executado o projeto em conformidade com o planejamento idealizado na fase de definição.
- **Encerramento:** É realizado o monitoramento das condicionantes do projeto de descomissionamento após conclusão do escopo do projeto.

Por ser um projeto altamente desafiador, complexo e iluminado pelas luzes das incertezas, o cronograma deve ser construído considerando o máximo possível de variáveis que impactam o andamento do projeto. As atividades devem ser bem descritas, detalhadas ao menor nível da Estrutura Analítica do Projeto (EAP) do projeto, coerentes nos relacionamentos e seguindo uma lógica de desmantelamento para que o previsto seja o mais próximo de um desenvolvimento factível.

Os cronogramas de projetos de descomissionamento são tratados de forma determinísticas na fase conceitual, tendo em vista o grau de incertezas que ainda assolam o projeto e pelas indefinições que ainda não foram resolvidas.

3.3. Coleta de Dados

Nesta etapa da metodologia foram coletados dados de cronogramas de Projetos de Descomissionamento realizados pela PETROBRAS, num intervalo de 10 anos em especial de FPSOs, já finalizados ou em finalização da fase de execução.

Inicialmente, foram levantados projetos similares ao descomissionamento do FPSO CDAN e do FPSO Capixaba. O projeto Capixaba foi utilizado para validar a Simulação de Monte Carlo, conforme detalhado na seção seguinte, considerando semelhanças na engenharia da plataforma. Foram analisados aspectos técnicos

(suportes de *risers*, sistemas de ancoragem, tempo de instalação das linhas, unidade de produção e destinação da plataforma), ambientais e de riscos.

Com os cronogramas dos projetos similares analisados, foram extraídas as durações reais das atividades, permitindo um tratamento de dados mais preciso para o planejamento do descomissionamento.

3.4. Tratamento de Dados

Os dados coletados de cronogramas de projetos similares foram utilizados como referência para a conversão do cronograma determinístico em um cronograma probabilístico. Inicialmente, considerou-se a utilização do suplemento do Excel denominado *Best Fit* para se determinar a distribuição de probabilidade mais adequada ao conjunto de dados disponível. Contudo, optou-se pela adoção de uma distribuição de probabilidade triangular, uma abordagem mais adequada quando se enfrenta a escassez de dados. No modelo adotado, as maiores durações reais observadas nos projetos analisados foram classificadas como valores pessimistas, enquanto as menores durações foram consideradas valores otimistas. O valor mais provável foi determinado a partir da média das durações reais das atividades de todos os projetos.

Na sequência foi realizado o segundo passo, que é a aplicação da simulação propriamente dita. Nesta etapa, com a aplicação da distribuição triangular, foi aplicada a técnica de Monte Carlo, através do suplemento do Excel chamado *@risk*. A partir daí, os valores de cada duração de atividade, que eram determinísticos, foram substituídos por um valor probabilístico no cronograma.

O procedimento descrito foi aplicado ao projeto de descomissionamento do FPSO Capixaba, que já foi removido e transferido para águas internacionais, sendo utilizado como estudo preliminar para validação metodológica. Também foi aplicado ao projeto de descomissionamento do FPSO CDAN, que constitui o objeto central desta pesquisa.

Com a substituição das durações determinísticas por durações probabilísticas, foi analisado o impacto nos cronogramas como um todo. Ao final foram comparados os cronogramas determinísticos e probabilísticos e checada a confiabilidade da duração total dos projetos.

Em razão da impossibilidade de divulgação dos cronogramas detalhados da Companhia, este estudo fez uso exclusivo de dados públicos disponibilizados pela ANP e/ou IBAMA. Dessa forma, o cronograma adotado abrange unicamente as atividades da fase de execução em um nível macro, contemplando as principais etapas operacionais. As informações detalhadas podem ser consultadas nos PDIs, protocolados junto aos órgãos reguladores.

Para a aplicação da metodologia proposta, os cronogramas dos projetos Capixaba e CDAN foram elaborados no *software MS-Project*, com base nas *timelines* contidas nos PDIs protocolados junto aos órgãos reguladores, especificamente a ANP e o IBAMA.

Devido às limitações do *MS-Project*, que não permitia estabelecer um relacionamento direto entre as atividades de limpeza de linhas e o *pull out*, considerando que a precedência prevista era o início do *pull out* apenas após a conclusão de 50% da campanha de limpeza, foi necessário criar uma tarefa de apoio para representar essa dependência. Para isso, foi inserida a tarefa denominada "Prontidão *pull out*", funcionando como elo entre a limpeza de linhas e o início do *pull-out*, de modo a permitir que a relação de precedência fosse corretamente modelada.

Além disso, um requisito fundamental para a execução da simulação no *software @Risk* foi a realização de uma auditoria detalhada das atividades, a qual exige que todas as tarefas, exceto a primeira e a última, possuam predecessoras e sucessoras bem definidas. Dessa forma, a criação dessa tarefa de apoio tornou-se essencial para garantir que o modelo fosse plenamente compatível com as exigências do programa, assegurando o sucesso na execução da simulação.

Após a obtenção dos resultados probabilísticos para o projeto Capixaba, foi realizada uma comparação entre os resultados probabilísticos, reais e determinísticos, com o objetivo de verificar a proximidade entre os resultados probabilísticos e os reais, bem como a diferença entre os resultados probabilísticos e determinísticos.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Implementação da Simulação de Monte Carlo para o Projeto Capixaba

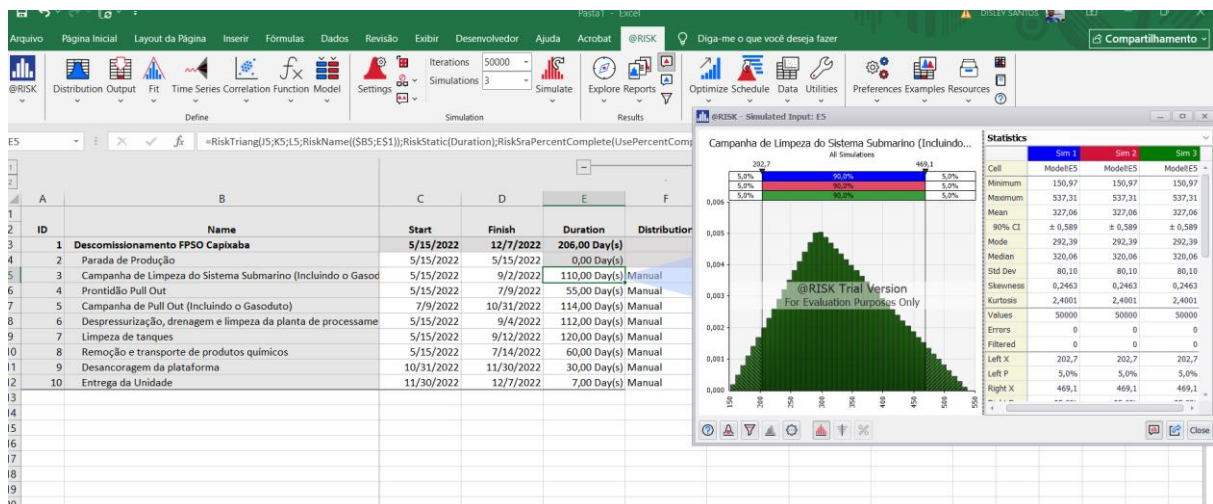
Conforme descrito na metodologia, a Etapa 1 foi inicialmente executada com a implementação da simulação de Monte Carlo para o projeto Capixaba. Foram realizadas 3 simulações com 50.000 iterações cada.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para cada uma das atividades, bem como para a duração total do projeto.

A parada de produção constitui o marco inicial para as atividades de execução do projeto, possuindo duração igual a zero, uma vez que se trata de um evento marco. Portanto, não é objeto de análise no contexto deste estudo.

4.1.1. Campanha de Limpeza do Sistema Submarino (Incluindo o Gasoduto)

Gráfico 4 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de limpeza do sistema submarino



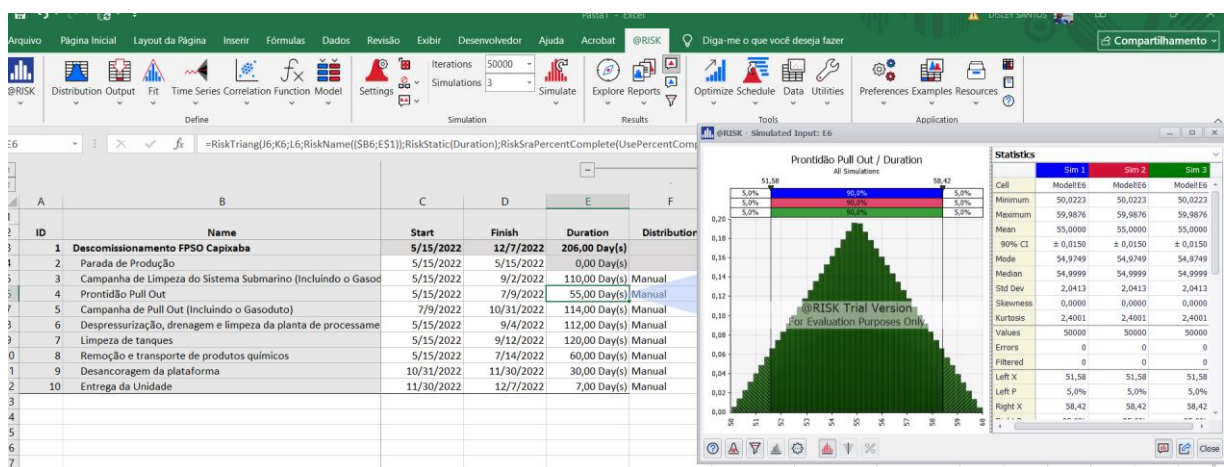
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado no Gráfico 4, nas três simulações realizadas, a duração da campanha de limpeza do sistema submarino (incluindo o gasoduto) variou entre 150,97 (mínimo) e 537,31 (máximo) dias, com uma média de 327,06 dias. Considerando um nível de confiança de 90%, estima-se que essa média esteja entre 294,35 e 359,76 dias. A moda foi de 292,39 dias, representando o valor mais frequentemente

observado entre as 50.000 simulações. Já a mediana foi de 320,06 dias, o que indica que 50% dos valores simulados ficaram abaixo desse número e os outros 50% acima. Como medida da variabilidade, o desvio padrão foi de 80,10 dias, refletindo a dispersão dos resultados em torno da média.

4.1.2. Prontidão *Pull Out*

Gráfico 5 – Prontidão *Pull Out*

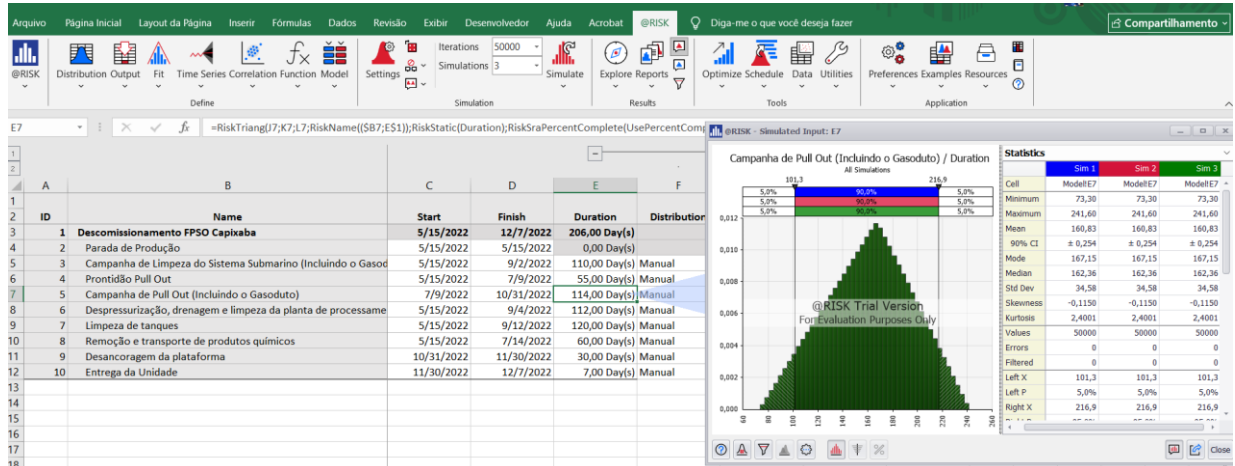


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No Gráfico 5, a tarefa de apoio "Prontidão *Pull Out*" representa a dependência entre a campanha de limpeza e o início do *Pull Out*, que ocorre após 50% da limpeza concluída. Sua duração média foi de 54,97 dias, correspondendo à metade da duração prevista da campanha de limpeza.

4.1.3. Campanha de *Pull Out*:

Gráfico 6 - Simulação de monte carlo aplicada na atividade campanha de *pull out* (incluindo o gasoduto)

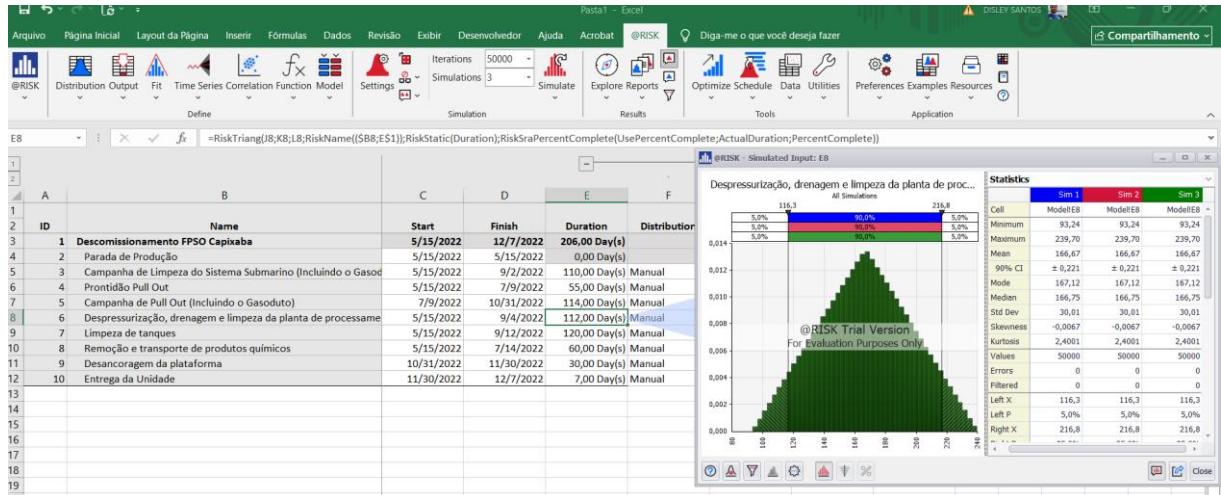


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado no Gráfico 6, a campanha de pull out apresentou uma duração média de 160,83 dias. Esse valor reflete o tempo estimado, com base nas simulações realizadas, para a execução completa dessa atividade, considerando as variabilidades do processo e suas dependências com etapas anteriores, como a campanha de limpeza do sistema submarino.

4.1.4. Despressurização, Drenagem e Limpeza de Planta de Processamento

Gráfico 7 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade despressurização, drenagem e limpeza da planta de processamento

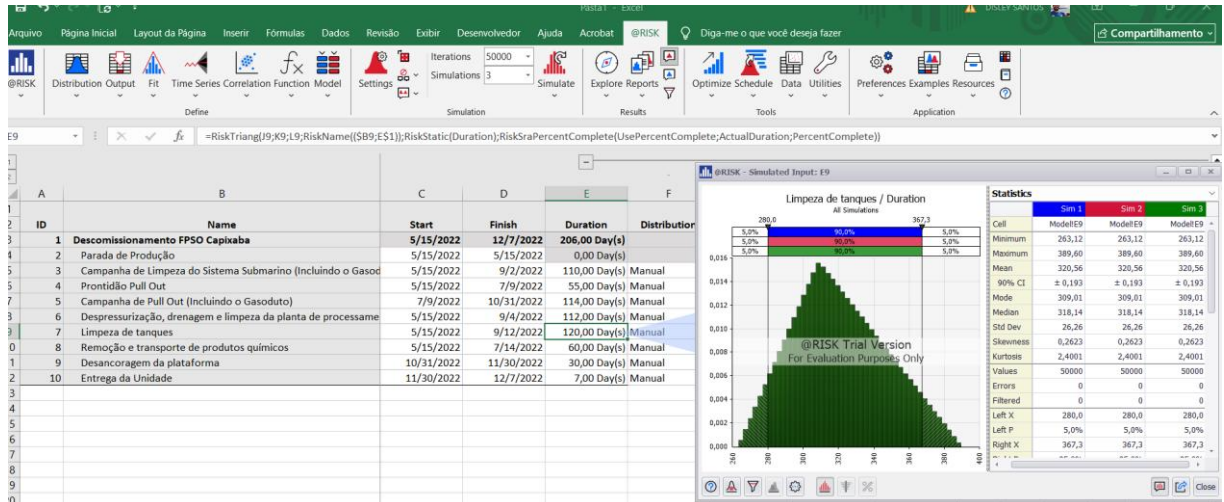


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 7, a atividade de despressurização, drenagem e limpeza da planta de processamento registrou uma duração média de 166,67 dias.

4.1.5. Limpeza de Tanques

Gráfico 8 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de limpeza de tanques

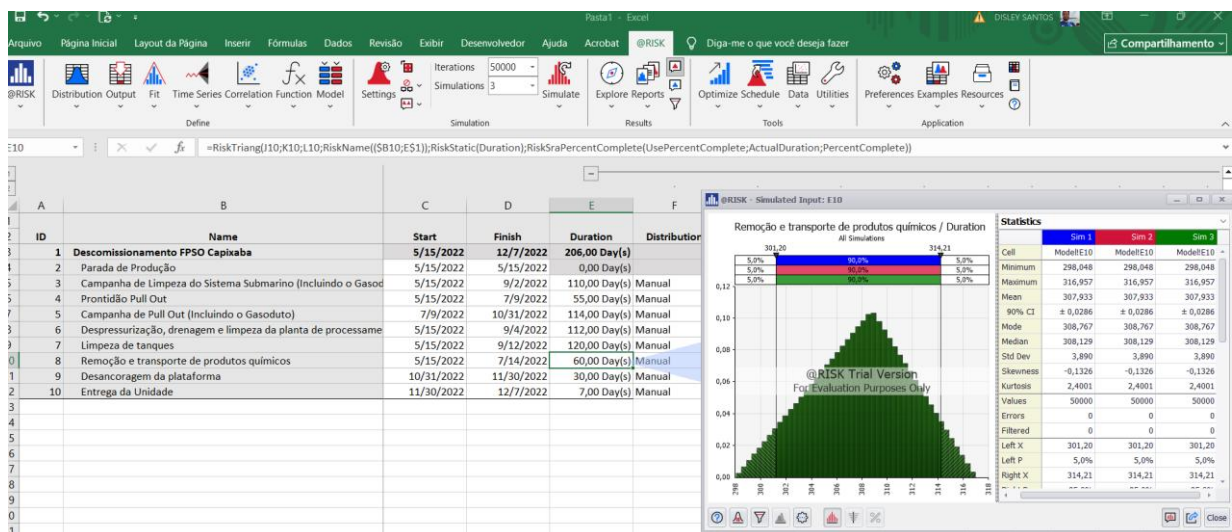


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 8, a atividade de limpeza de tanques registrou uma duração média obtida a partir das simulações de 320,56 dias.

4.1.6. Remoção e Transporte de Produtos Químicos

Gráfico 9 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de remoção e transportes de produtos químicos

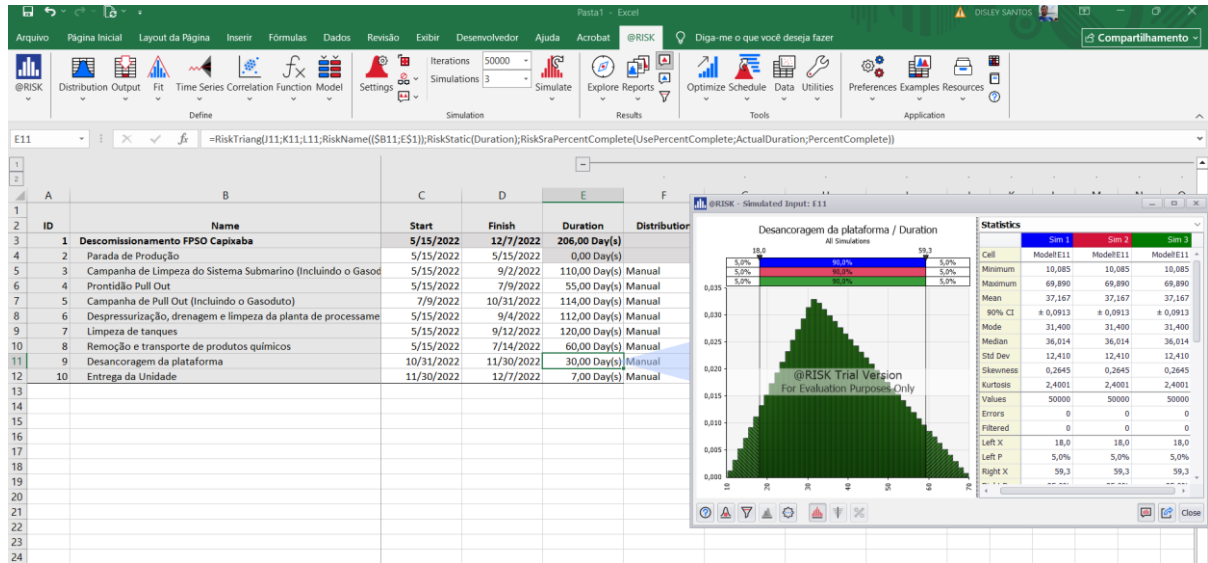


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 9, a atividade de remoção e transportes de produtos químicos registrou uma duração média de 307,93 dias, com base nas simulações realizadas.

4.1.7. Desancoragem da Plataforma

Gráfico 10 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de desancoragem da plataforma

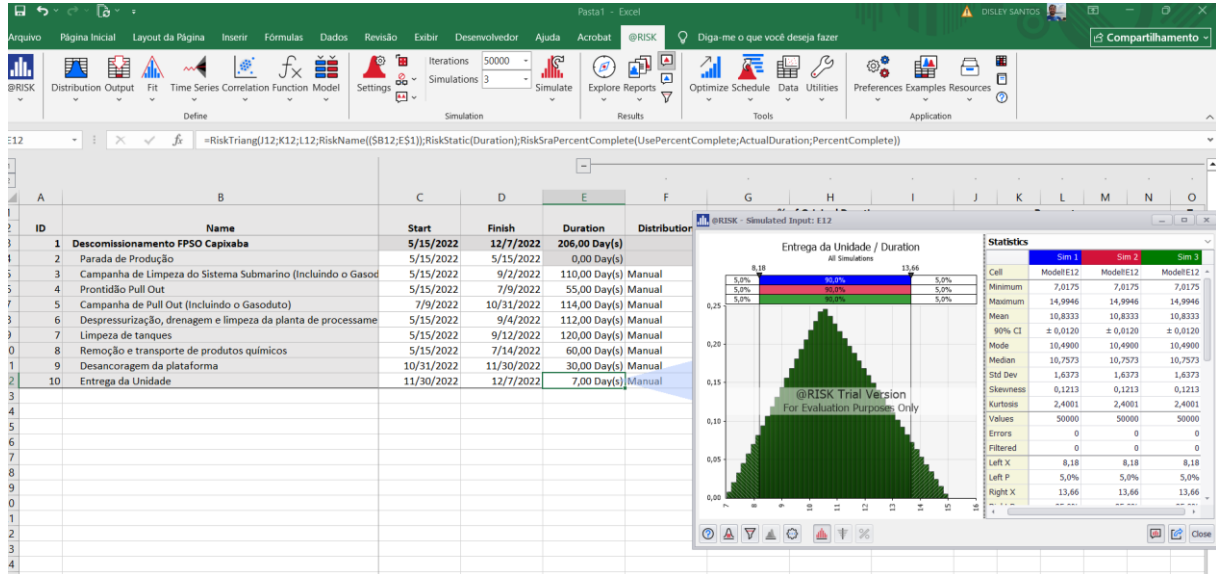


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 10, a atividade de desancoragem da plataforma registrou uma duração média de 37,16 dias, com base nas simulações realizadas.

4.1.8. Entrega da Unidade

Gráfico 11 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de entrega da unidade

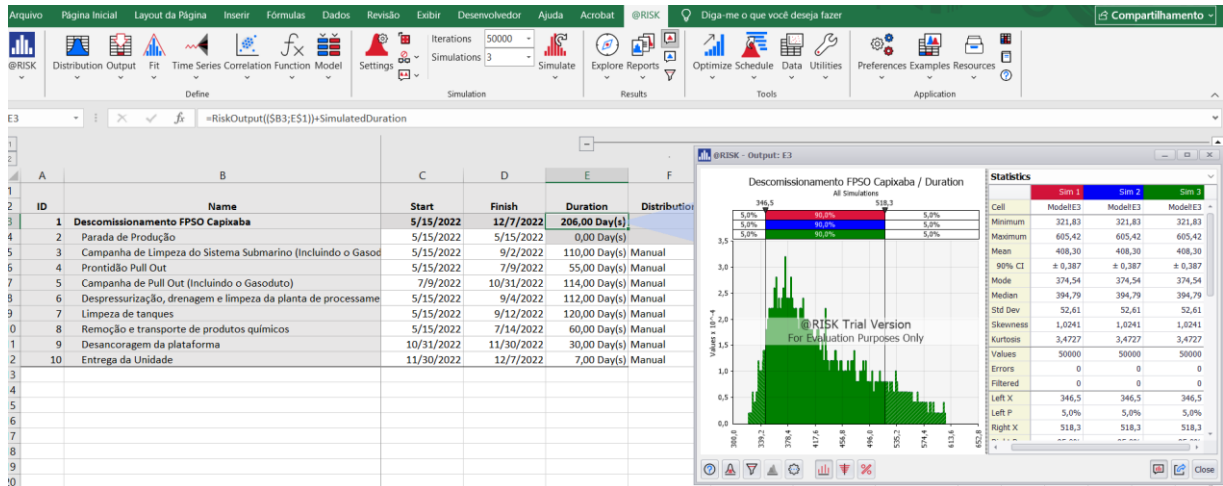


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 11, a atividade de entrega da Unidade da plataforma registrou uma duração média de 10,83 dias, com base nas simulações realizadas.

4.1.9. Duração Total do Projeto de Descomissionamento Capixaba

Gráfico 12 - Simulação de Monte Carlo aplicada no Projeto de Descomissionamento Capixaba (duração total do projeto)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado no Gráfico 12, nas três simulações realizadas, a duração do Projeto de Descomissionamento Capixaba variou entre 321,83 (mínimo) e 605,42 (máximo) dias, com uma média de 408,30 dias. Considerando um nível de confiança de 90%, estima-se que essa média esteja entre 367,47 e 449,13 dias. A moda foi de 374,54 dias, representando o valor mais frequentemente observado entre as 50.000 simulações. Já a mediana foi de 394,79 dias, o que indica que 50% dos valores simulados ficaram abaixo desse número e os outros 50% acima. Como medida da variabilidade, o desvio padrão foi de 70,43 dias, refletindo a dispersão dos resultados em torno da média.

Com isso, cumpre-se o primeiro objetivo específico desta dissertação, que consiste em aplicar uma abordagem probabilística, por meio da Simulação de Monte Carlo, na fase conceitual do projeto, a fim de lidar de forma mais eficaz com as incertezas e fornecer maior embasamento para a tomada de decisões estratégicas.

4.1.10. Comparação de Resultados

A Simulação de Monte Carlo foi aplicada com o propósito de incorporar a variabilidade e as incertezas inerentes às operações *offshore*, utilizando parâmetros de entrada definidos com base em dados históricos e experiências anteriores e julgamento especializado. Essa abordagem probabilística busca representar cenários mais realistas para a tomada de decisão, especialmente em projetos complexos e com elevado grau de incerteza, como é o caso do descomissionamento.

Esta etapa tem como objetivo comparar diferentes abordagens de estimativa de duração aplicadas às principais atividades do Projeto de Descomissionamento da Unidade Capixaba. As durações previstas (estimativas determinísticas elaboradas na fase conceitual), as durações efetivamente realizadas durante a execução do projeto e as estimativas obtidas por meio da Simulação de Monte Carlo (SMC) são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo de Durações do Projeto de Descomissionamento Capixaba (Previsto x Real x Simulação de Monte Carlo)

Atividade	PREV (dias)	REAL (dias)	SMC (dias)	Desvio Padrão (dias)	Intervalo em Torno da Média (+)	Intervalo em Torno da Média (-)	Real dentro do intervalo?	Diferença PREV vs REAL (%)	Diferença SMC vs REAL (%)	Ganho da SMC sobre o PREV (%)
Duração Total do Projeto	206	388	408	53	461	356	Sim	46,91%	5,15%	41,75%
Limpeza do Sistema Submarino	110	316	327	80	407	247	Sim	65,19%	3,48%	61,71%
Operações de Pull Out	114	202	161	35	196	126	Não	43,56%	20,30%	23,27%
Despressurização, drenagem e limpeza da planta de processamento	112	93	167	30	197	137	Não	20,43%	79,57%	-59,14%
Limpeza de tanques	120	273	321	26	347	295	Não	56,04%	17,58%	38,46%
Remoção e transporte de produtos químicos	60	305	309	4	313	305	Sim	80,33%	1,31%	79,02%
Desancoragem da plataforma	30	20	37	12	49	25	Não	50,00%	85,00%	-35,00%
Entrega da Unidade	7	8	11	2	13	9	Não	12,50%	37,50%	-25,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A duração total do projeto, inicialmente prevista em 206 dias, alcançou 388 dias em sua execução. A Simulação de Monte Carlo (SMC) estimou 408 dias, resultando

em uma diferença de apenas 20 dias em relação ao realizado, o que demonstra que a simulação foi capaz de reproduzir de forma consistente a realidade do cronograma, mantendo a duração real dentro do intervalo de variação projetado.

Na etapa de limpeza do sistema submarino, havia previsão de 110 dias, porém a execução demandou 316 dias. A SMC indicou 327 dias, valor bastante próximo ao observado, com diferença de apenas 11 dias, o que novamente confirma a aderência do modelo probabilístico à realidade operacional.

Por outro lado, no caso do *pull out*, a discrepância foi mais significativa. Enquanto a previsão era de 114 dias e a SMC estimava 161 dias, a execução atingiu 202 dias. Assim, a diferença em relação ao previsto foi de 88 dias, e em relação à simulação, de 41 dias. Nesse cenário, a duração real ultrapassou o intervalo de variação fornecido pela SMC, evidenciando uma limitação da modelagem probabilística diante das incertezas específicas dessa atividade.

Situação semelhante foi observada na limpeza de tanques. O prazo inicialmente previsto de 120 dias se estendeu para 273 dias, enquanto a SMC estimava 321 dias. Embora a diferença entre o realizado e a simulação tenha sido de 48 dias, a duração real também não esteve contemplada no intervalo de variação da SMC, reforçando a ocorrência de desvios significativos no planejamento.

Por fim, a atividade de remoção e transporte de produtos químicos apresentou um dos melhores alinhamentos entre previsão e simulação. Apesar de ter sido prevista para 60 dias e realizada em 305 dias, a SMC estimou 309 dias, com diferença de apenas 4 dias. Nesse caso, o resultado ficou dentro do intervalo de variação da simulação, validando a eficiência do modelo probabilístico para representar essa etapa do projeto.

A análise das quatro últimas colunas da Tabela 1, que apresentam o desvio padrão, o intervalo em torno da média e a verificação da aderência da duração real a esse intervalo, demonstra que a Simulação de Monte Carlo capturou de forma consistente a variabilidade de algumas atividades, como a duração total do projeto, a limpeza do sistema submarino e a remoção de produtos químicos, onde as durações reais se mantiveram dentro dos limites probabilísticos estimados. Para as atividades cujo resultado ficou fora do intervalo, essa divergência evidencia a necessidade de ajustes específicos no modelo para melhor representar sua variabilidade, reforçando o potencial da abordagem probabilística como base para aprimoramento contínuo das estimativas.

Toda essa análise evidencia o potencial dessa abordagem probabilística para aprimorar a previsibilidade do cronograma em projetos sujeitos a alto grau de incerteza. Diante da análise comparativa apresentada, conclui-se que os demais objetivos específicos (2 e 3) estabelecidos para esta pesquisa foram devidamente alcançados. O segundo objetivo, que visava comparar os resultados obtidos pela Simulação de Monte Carlo com as estimativas do método PERT e com as durações determinísticas inicialmente previstas, também foi cumprido, evidenciando, na maioria dos casos, maior aderência da abordagem probabilística às durações reais do projeto. Por fim, o terceiro objetivo, de avaliar a legitimidade da Simulação de Monte Carlo como ferramenta de estimativa de prazos em projetos reais de descomissionamento, foi alcançado com base nos resultados que sugerem sua eficácia e superioridade em relação aos métodos tradicionais, especialmente em atividades de maior complexidade e variabilidade. Assim, os dados analisados reforçam a viabilidade da utilização da Simulação de Monte Carlo como suporte à gestão de cronogramas em projetos *offshore*.

Com base nos resultados apurados neste estudo, observa-se que a Simulação de Monte Carlo (SMC) se mostrou uma ferramenta eficaz para estimar a duração de projetos de descomissionamento *offshore*. A proximidade entre os prazos simulados e os valores reais observados no Projeto Capixaba evidencia a capacidade da SMC de representar adequadamente as incertezas e variabilidades envolvidas nas atividades. Essa constatação vai ao encontro do que afirmam Acebes *et al.*, (2012), ao destacarem que a variabilidade de um projeto pode ser estimada ainda na fase de planejamento por meio de simulações baseadas em distribuições de probabilidade.

Além disso, conforme argumentam Nascimento e Weslei (2019), a SMC oferece respostas probabilísticas que superam análises binárias tradicionais, permitindo compreender não apenas se uma atividade pode atrasar, mas com que probabilidade isso ocorrerá, agregando valor à tomada de decisão. Essa capacidade é reforçada por autores como Nasir, McCabe e Hartono (2003), ao explicarem que a SMC se baseia na construção de distribuições (com destaque para a beta) e na geração de execuções múltiplas do cronograma a partir de valores otimistas, pessimistas e mais prováveis. A partir dessa lógica, a simulação permite definir uma função de distribuição de probabilidade para a duração total do projeto, ampliando a confiabilidade das estimativas.

Desse modo, Leal e Oliveira (2011) destacam que a Simulação de Monte Carlo tem se consolidado como uma técnica amplamente aplicada na gestão de projetos complexos, como os de construção civil, indústria de óleo e gás e logística. Segundo os autores, ao gerar valores pseudoaleatórios com base nas distribuições de probabilidade de cada atividade, é possível identificar o caminho crítico em cada simulação e, assim, estimar a duração total do projeto com maior precisão. Esse processo não apenas melhora a compreensão das incertezas associadas ao cronograma, mas também fornece subsídios práticos para decisões estratégicas ao longo da execução, aumentando a confiabilidade e a capacidade de resposta dos gestores frente aos riscos do projeto.

Esses resultados demonstram que a Simulação de Monte Carlo foi capaz de capturar, de forma robusta, a variabilidade e a incerteza associadas à duração total do projeto, oferecendo uma estimativa mais realista e estatisticamente fundamentada.

4.2. Implementação da Simulação de Monte Carlo para o Projeto CDAN

Conforme descrito na metodologia, a Etapa 2 consistiu na implementação da Simulação de Monte Carlo aplicada ao projeto CDAN, realizada após a validação da técnica no projeto Capixaba (Etapa 1).

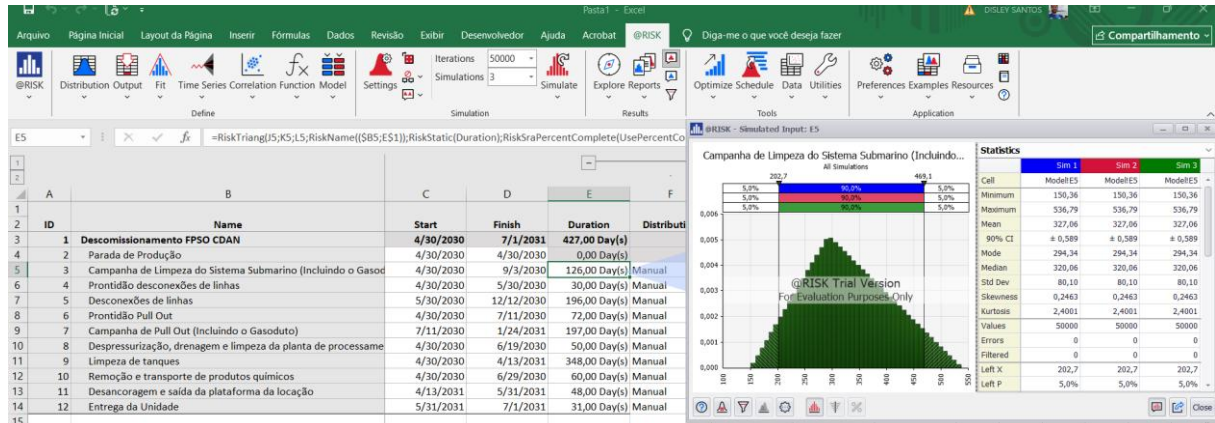
Nesta etapa, foram modeladas as distribuições probabilísticas das durações das atividades do projeto, possibilitando a geração de múltiplas simulações para estimar a variabilidade dos prazos previstos. A análise resultante forneceu estatísticas descritivas, tais como mínimos e máximos, médias, medianas, desvios-padrão, além de intervalos de confiança com 90% de confiabilidade.

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos para as durações de cada atividade e para a duração total do projeto, com base em três simulações, cada uma contendo 50.000 iterações.

Ressalta-se que a parada de produção, apesar de ser o marco inicial para as atividades de execução, possui duração igual a zero, configurando-se como evento marco. Portanto, não é objeto de análise na presente simulação.

4.2.1. Campanha de Limpeza de Linhas

Gráfico 13 - Simulação de Monte Carlo aplicada na campanha de limpeza de linhas

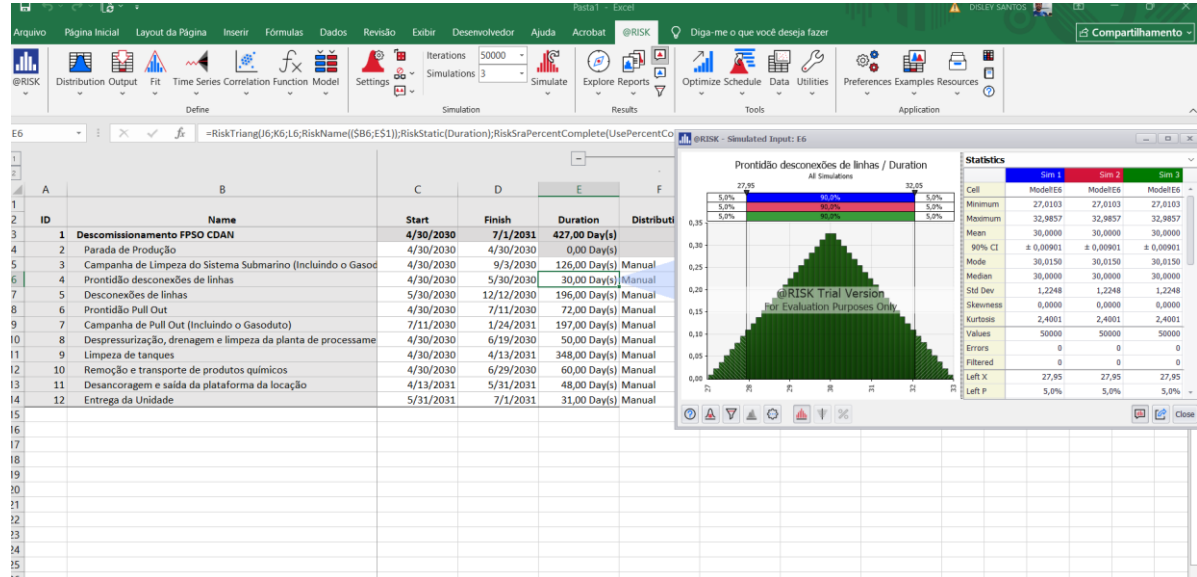


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado no Gráfico 13, nas três simulações realizadas, a duração da campanha de limpeza do sistema submarino (incluindo o gasoduto) variou entre 150,36 (mínimo) e 537,79 (máximo) dias, com uma média de 327,06 dias. Considerando um nível de confiança de 90%, estima-se que essa média esteja entre 294,35 e 359,76 dias. A moda foi de 294,34 dias, representando o valor mais frequentemente observado entre as 50.000 simulações. Já a mediana foi de 320,06 dias, o que indica que 50% dos valores simulados ficaram abaixo desse número e os outros 50% acima. Como medida da variabilidade, o desvio padrão foi de 80,10 dias, refletindo a dispersão dos resultados em torno da média.

4.2.2. Prontidão Desconexão de Linhas

Gráfico 14 - Prontidão desconexão de linhas

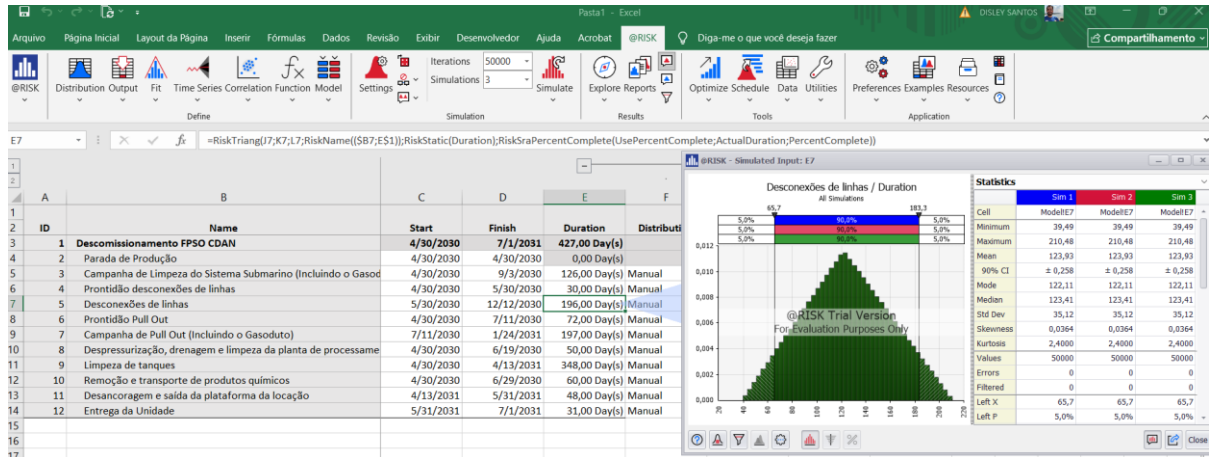


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 14, a tarefa de apoio "Prontidão Limpeza de Linhas" foi criada para representar a dependência entre a campanha de limpeza e o início das desconexões de linhas, que ocorre 30 dias após o início da limpeza. Essa tarefa foi incluída como apoio para estabelecer essa relação lógica, evitando o uso de vínculos do tipo início/início no *Microsoft Project*, os quais não são compatíveis com a estrutura de análise exigida pelo @RISK durante auditorias. A duração média da tarefa foi de 30 dias, representando exatamente o intervalo previsto entre o início da campanha de limpeza e o início das desconexões.

4.2.3. Desconexões de Linhas

Gráfico 15 - Simulação de Monte Carlo aplicada na campanha de limpeza de linhas

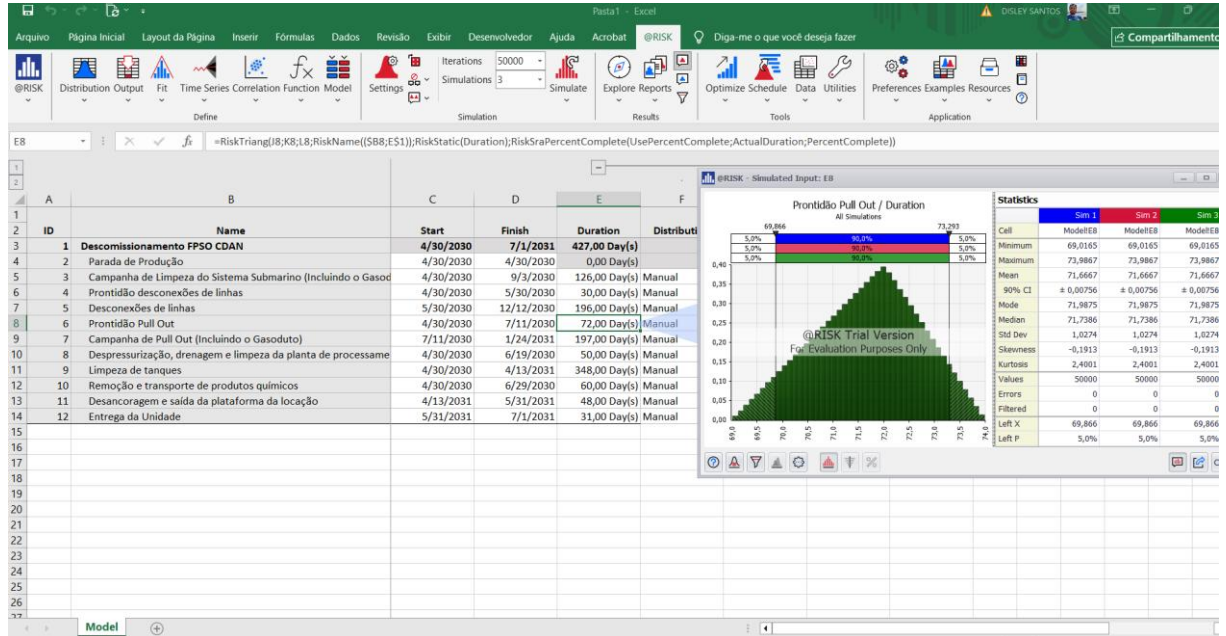


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 15, a atividade de desconexão de linhas registrou uma duração média de 123,93 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.4. Prontidão para *Pull Out*

Gráfico 16 – Prontidão para *Pull Out*

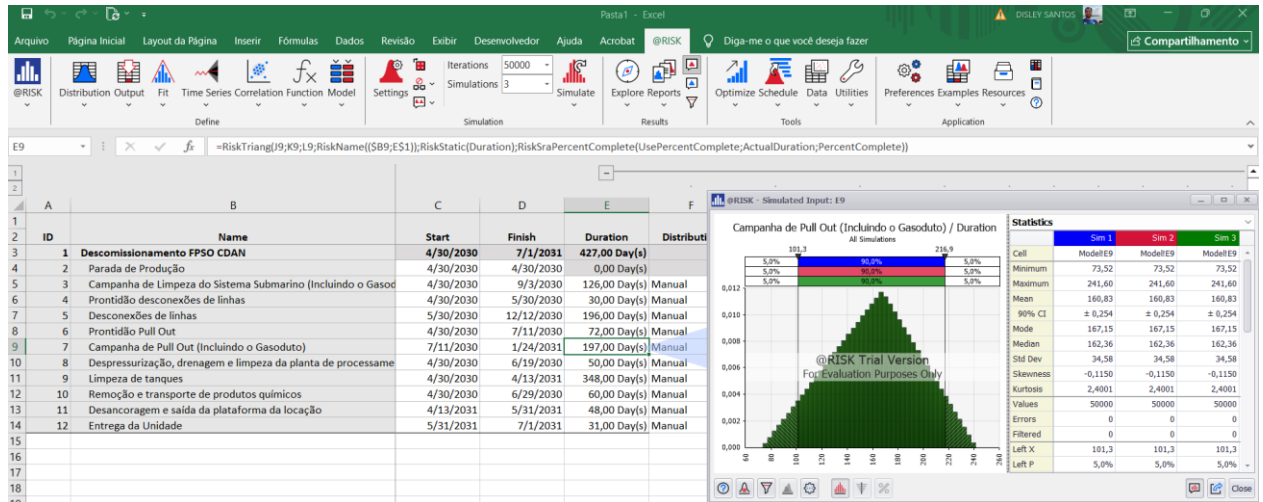


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 16, a tarefa de apoio "Prontidão para *Pull Out*" foi criada para representar a dependência entre a campanha de limpeza e o início dos *pull outs*, prevista para 72 dias após o início da limpeza no cronograma determinístico. Essa solução evita o uso de vínculos início/início no Microsoft Project, incompatíveis com a auditoria realizada pelo @RISK. A duração média foi de 71,66 dias, refletindo o intervalo esperado entre as duas atividades.

4.2.5. Campanha de Pull Out

Gráfico 17 - Simulação de Monte Carlo aplicada na campanha de pull outs

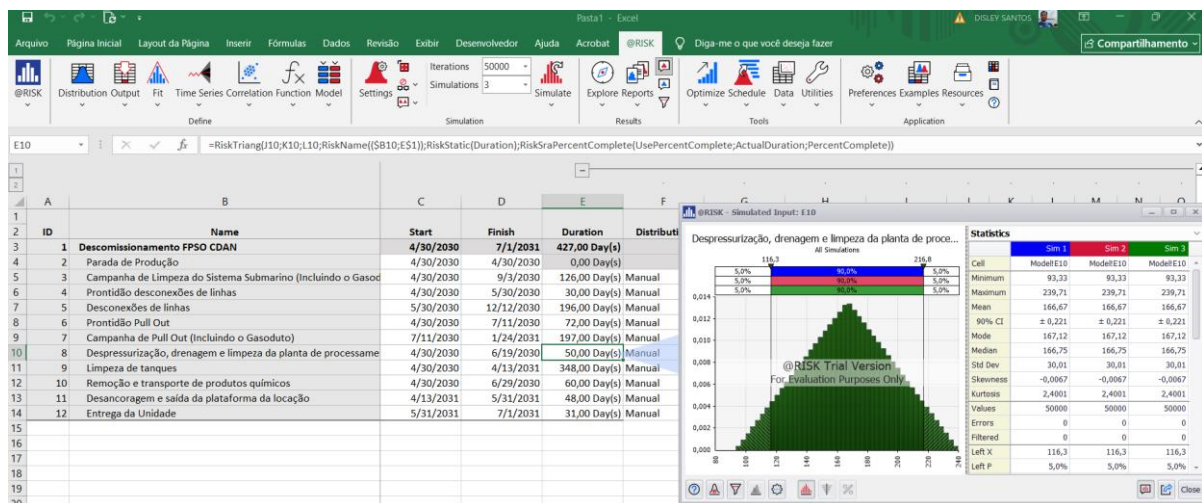


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 17, a atividade de campanha de pull out registrou uma duração média de 160,83 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.6. Despressurização, Drenagem e Limpeza de Planta de Processamento

Gráfico 18 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de despressurização, drenagem e limpeza de planta de processamento

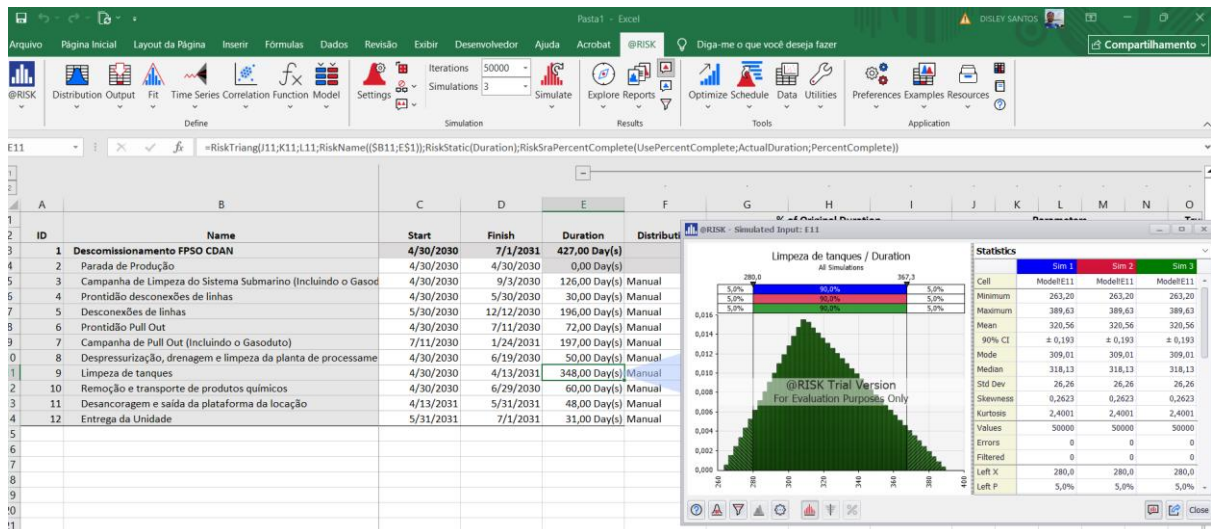


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 18, a atividade de despressurização, drenagem e limpeza da planta da plataforma registrou uma duração média de 166,67 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.7. Limpeza de Tanques

Gráfico 19 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de limpeza de tanques

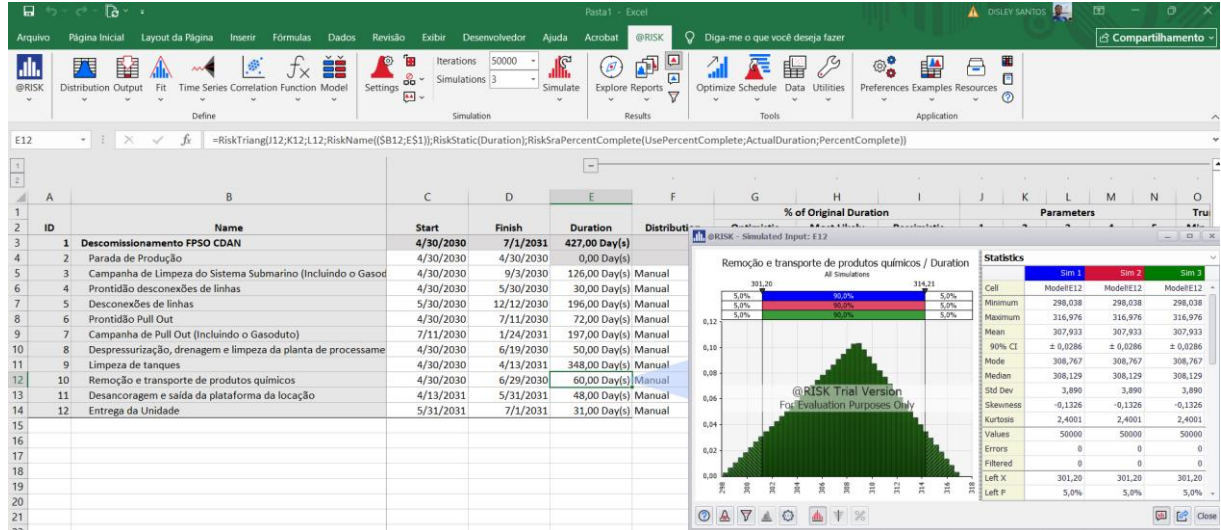


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 19, a atividade de limpeza de tanques registrou uma duração média de 320,56 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.8. Remoção e Transportes de Produtos Químicos

Gráfico 20 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de remoção e transportes de produtos químicos

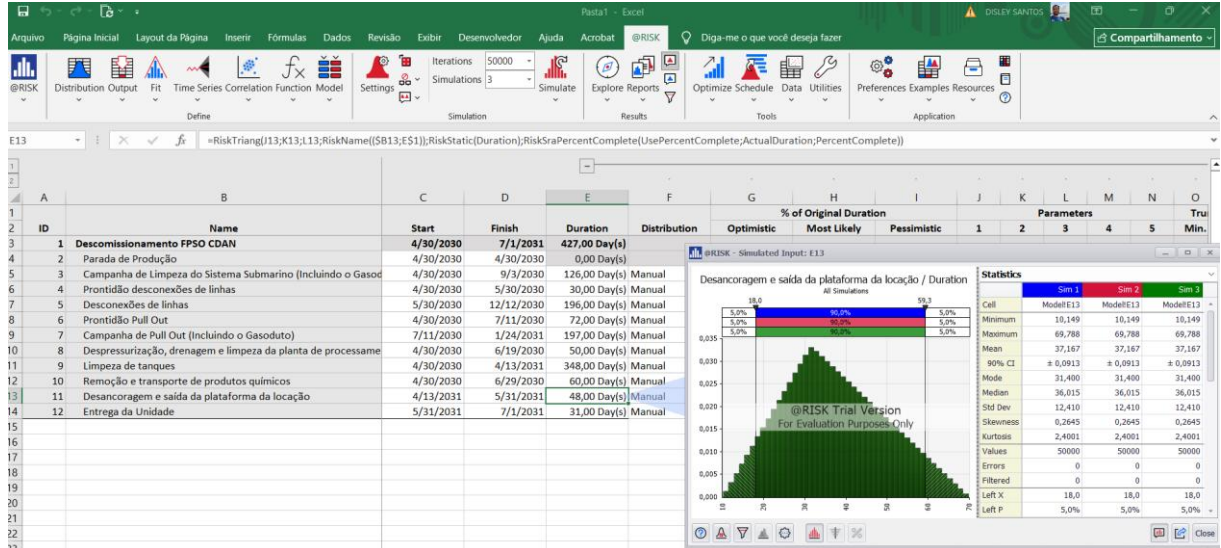


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 20, a atividade de remoção e transporte de produtos químicos registrou uma duração média de 307,93 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.9. Desancoragem e Saída da Plataforma da Locação

Gráfico 21 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de desancoragem e saída da plataforma da locação

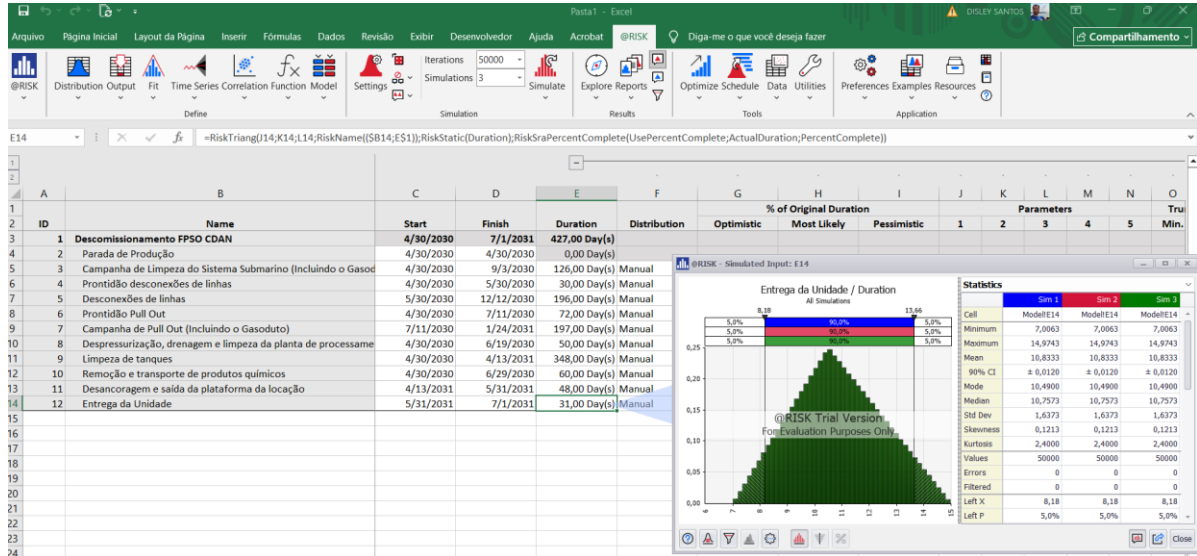


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 21, a atividade de desancoragem e saída da plataforma da locação registrou uma duração média de 37,16 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.10. Entrega da Unidade

Gráfico 22 - Simulação de Monte Carlo aplicada na atividade de entrega da Unidade

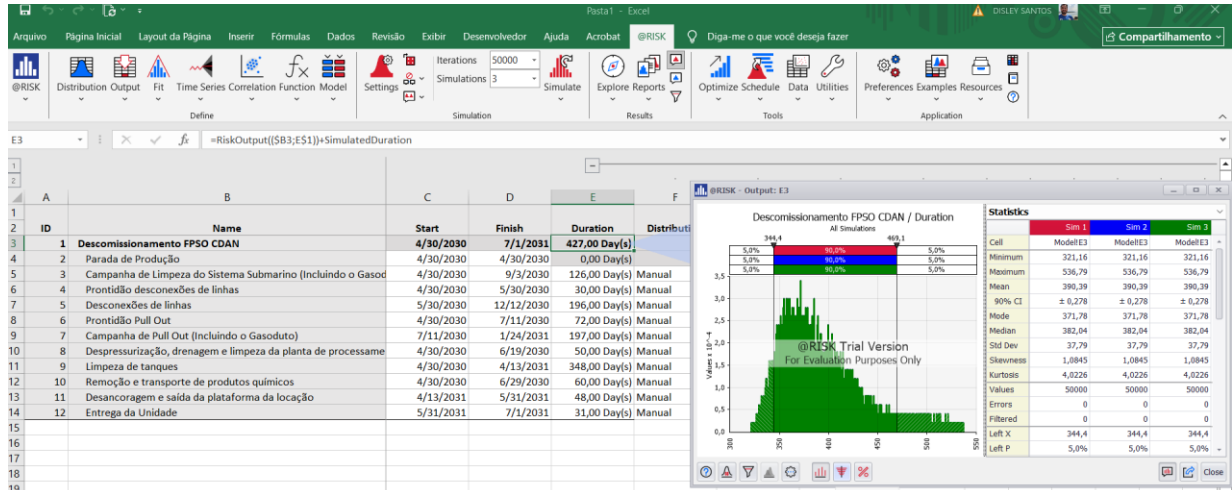


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado no Gráfico 22, a entrega da unidade registrou uma duração média de 10,83 dias, com base nas simulações realizadas.

4.2.11. Duração Total do Projeto de Descomissionamento CDAN

Gráfico 23 - Simulação de Monte Carlo aplicada no Projeto de Descomissionamento Capixaba (duração total do projeto)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado no Gráfico 23, nas três simulações realizadas, a duração do Projeto de Descomissionamento CDAN variou entre 321,16 (mínimo) e 536,79 (máximo) dias, com uma média de 390,39 dias. Considerando um nível de confiança de 90%, estima-se que essa média esteja entre 429,42 e 351,35 dias. A moda foi de 371,78 dias, representando o valor mais frequentemente observado entre as 50.000 simulações. Já a mediana foi de 382,04 dias, o que indica que 50% dos valores simulados ficaram abaixo desse número e os outros 50% acima. Como medida da variabilidade, o desvio padrão foi de 37,79 dias, refletindo a dispersão dos resultados em torno da média.

4.2.12. Comparação de Resultados

A confiança nos resultados da Simulação de Monte Carlo é reforçada pelo fato de que sua parametrização e estrutura foram validadas com base no Projeto de Descomissionamento Capixaba, que compartilha características técnicas e operacionais semelhantes com o Projeto CDAN.

Ao utilizar dados empíricos e comportamentos observados no Capixaba para modelar distribuições de probabilidade e incertezas, a simulação ganha robustez e

maior aderência à realidade. Isso confere maior confiabilidade aos resultados gerados, tornando-os mais representativos do que uma estimativa determinística baseada apenas em valores médios.

A Tabela 2 apresenta a comparação entre as durações previstas das atividades do Projeto CDAN e os resultados obtidos por meio da Simulação de Monte Carlo (SMC). Ao cruzar esses dados, observam-se diferenças significativas em diversas atividades, tanto para mais quanto para menos.

Tabela 2 - Comparativo de Durações do Projeto de Descomissionamento CDAN (Previsto x Simulação de Monte Carlo)

	CDAN						
	PREV (dias)	SMC (dias)	Desvio (dias)	Desvio Padrão	Intervalo em torno a média		
					Intervalo (+)	Intervalo (-)	Determinístico dentro do intervalo ?
Duração Total do Projeto	427	390	-37	38	428	352	Sim
Limpeza do Sistema Submarino	126	327	201	80	407	247	Não
Desconexão de Linhas	196	123	-73	35	158	88	Não
Operações de Pull Out	197	161	-36	35	196	126	Sim
Despressurização, drenagem e limpeza da planta de processamento	50	166	116	30	196	136	Não
Limpeza de tanques	348	321	-27	26	347	295	Sim
Remoção e transporte de produtos químicos	60	308	248	4	312	304	Não
Desancoragem da plataforma	48	37	-11	12	49	25	Sim
Entrega da Unidade	31	11	-20	2	13	9	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Nos casos em que as durações obtidas pela simulação probabilística foram menores que as estimativas determinísticas, isso pode indicar que tais atividades tendem a ser concluídas em menos tempo do que o previsto inicialmente, sugerindo um possível conservadorismo nas estimativas do planejamento original. Por outro lado, nas atividades em que as durações simuladas foram superiores, o resultado revela um cenário excessivamente otimista, possivelmente desconsiderando a complexidade operacional ou as incertezas inerentes. Esse ponto é particularmente crítico em

ambientes com alta variabilidade, como nas operações *offshore*, em que fatores externos e imprevisibilidades impactam diretamente a duração das atividades.

A análise das quatro últimas colunas da Tabela 2 revela que, ao aplicar os intervalos construídos com base na média da Simulação de Monte Carlo e seu respectivo desvio padrão, a SMC demonstrou boa capacidade de representar a variabilidade de algumas atividades. Destacam-se aquelas em que a previsão determinística (PREV) esteve contida nos limites da simulação, como a duração total do projeto, as operações de *pull out*, a limpeza de tanques e a desancoragem da plataforma. Por outro lado, a análise também evidencia discrepâncias significativas em atividades como a limpeza do sistema submarino, a depressurização da planta e a remoção de produtos químicos, cujas estimativas determinísticas ficaram consideravelmente fora do intervalo simulado.

Nesse contexto, a aplicação da SMC ao Projeto CDAN, utilizando o Projeto Capixaba como referência validada, revela-se uma escolha metodológica acertada. Como apontam Cesar e Sanches (2014), a integração entre as redes PERT/CPM e a simulação de Monte Carlo permite uma análise completa das durações, considerando os caminhos críticos de forma probabilística, o que amplia a precisão da gestão do tempo e fortalece a vantagem competitiva dos projetos. A evidência de que a SMC gerou estimativas mais próximas do real no Capixaba e indicou potenciais desvios relevantes no CDAN confirma o argumento de Abreu e Amorim (2017): ainda que a técnica não preveja o futuro com certeza absoluta, ela oferece subsídios robustos para decisões mais assertivas e estratégicas ao longo da execução do projeto.

Dessa forma, verifica-se que o presente trabalho cumpriu seu objetivo geral, ao demonstrar sua aplicabilidade e utilidade na estimativa de prazos em projetos de descomissionamento *offshore*. Especificamente no caso do Projeto CDAN, a utilização da SMC se justifica ainda mais quando se considera o excelente desempenho observado no Projeto Capixaba, no qual as durações simuladas se mostraram mais próximas dos tempos reais de execução do que as estimativas determinísticas. Com base nessa validação prévia e no comportamento similar entre os projetos, espera-se que a duração real do Projeto CDAN esteja mais alinhada com os resultados probabilísticos da SMC, reforçando a importância da técnica como ferramenta de apoio à tomada de decisão no planejamento e gerenciamento de projetos complexos e incertos.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como propósito avaliar a aplicabilidade da Simulação de Monte Carlo na avaliação probabilística de cronogramas em projetos de descomissionamento *offshore*, tradicionalmente tratados de forma determinística pelo método PERT/CPM. O objetivo geral de validar essa abordagem foi alcançado, na medida em que os resultados das simulações realizadas demonstraram maior proximidade em relação às durações reais observadas, quando comparadas às estimativas determinísticas. Dessa forma, evidenciou-se que a utilização de um método probabilístico possibilita representar de forma mais adequada as incertezas e variabilidades inerentes a esse tipo de projeto, ampliando a confiabilidade das estimativas de prazo e subsidiando decisões estratégicas mais fundamentadas.

No que se refere aos objetivos específicos, também foi possível constatar o cumprimento integral. O primeiro consistiu em utilizar uma abordagem probabilística durante a fase conceitual do projeto, de modo a lidar com as incertezas que caracterizam o descomissionamento de ativos *offshore*. Essa meta foi atendida, pois a aplicação da Simulação de Monte Carlo gerou distribuições de probabilidade que refletiram adequadamente a amplitude dos riscos associados às principais atividades do cronograma. O segundo objetivo, que visava comparar os resultados probabilísticos com as estimativas do método PERT e com os valores determinísticos inicialmente estabelecidos, foi igualmente alcançado, mostrando que a SMC forneceu maior aderência à realidade em boa parte das atividades avaliadas. Por fim, o terceiro objetivo, que buscava legitimar a técnica como ferramenta de apoio gerencial, também foi contemplado, uma vez que os resultados sustentam a viabilidade de sua adoção em projetos reais de descomissionamento.

Os principais resultados obtidos neste estudo reforçam a percepção de que a utilização de métodos determinísticos apresenta limitações significativas quando aplicada a projetos de elevada complexidade, como aqueles que envolvem operações submarinas e gestão de riscos ambientais e financeiros. A comparação entre as estimativas determinísticas e probabilísticas evidenciou discrepâncias relevantes, demonstrando que, em muitos casos, as médias determinísticas subestimam a duração real das atividades. Esse achado confirma os apontamentos teóricos de autores como Cesar e Sanches (2014) e Leal e Oliveira (2011), que já indicavam a

superioridade da Simulação de Monte Carlo para capturar as incertezas de cronogramas complexos. Assim, a pesquisa não apenas validou empiricamente a aplicabilidade do modelo, como também corroborou a literatura existente, fortalecendo a convergência entre teoria e prática.

Outro aspecto relevante diz respeito ao comportamento diferenciado entre as etapas analisadas. As atividades que compõem o caminho crítico, e imprescindíveis para saída da plataforma, como a limpeza de sistemas submarinos e *pull outs*, demonstraram melhor aderência às estimativas probabilísticas. Isso evidencia que atividades mais complexas se beneficiam mais intensamente da abordagem probabilística, já que o método permite contemplar cenários múltiplos e variações amplas, enquanto atividades de natureza rotineira ou com precedentes históricos mais estáveis tendem a apresentar menor dispersão de resultados. Portanto, a análise comparativa reforça a ideia de que a simulação probabilística não apenas complementa, mas supera os métodos tradicionais em contextos de alta incerteza.

Do ponto de vista das contribuições teóricas, este trabalho amplia o corpo de conhecimento ao explorar a aplicação da Simulação de Monte Carlo em um segmento ainda pouco investigado no Brasil: o descomissionamento de plataformas *offshore*. A dissertação não apenas reforça os argumentos já presentes na literatura sobre a superioridade da abordagem probabilística em relação às estimativas determinísticas, mas também apresenta evidências empíricas derivadas de um estudo de caso concreto, aumentando a robustez do debate acadêmico. Ao relacionar os resultados obtidos com os referenciais teóricos discutidos, o estudo demonstra que a adoção da SMC pode ser entendida como uma evolução natural das técnicas de planejamento de cronogramas, contribuindo para a consolidação do campo de estudos sobre gestão de projetos complexos.

No âmbito prático, os resultados desta pesquisa oferecem subsídios relevantes para gestores e profissionais envolvidos na condução de projetos de descomissionamento. A possibilidade de trabalhar com estimativas probabilísticas permite uma visão mais realista dos prazos, contribuindo para a mitigação de riscos de atrasos, redução de custos operacionais e maior segurança na tomada de decisão. Além disso, a aplicação da SMC possibilita identificar atividades críticas com maior precisão, auxiliando na priorização de recursos e no planejamento de contingências. Em um cenário no qual os investimentos previstos para descomissionamento de instalações offshore no Brasil alcançam cifras bilionárias, o uso de ferramentas

capazes de aumentar a assertividade no gerenciamento do tempo representa um diferencial estratégico de grande relevância.

A assertividade no cronograma de descomissionamento gera economia direta, pois o custo médio de uma plataforma parada após o fim da produção chega a US\$ 14,37 milhões por mês (US\$ 479 mil/dia). No caso do FPSO Capixaba, o método determinístico previa 206 dias, enquanto o real alcançou 388 dias, resultando em grande custo adicional. Já a Simulação de Monte Carlo estimou 408 dias, com erro de apenas 5,15%, contra 46,91% do previsto inicial, representando um ganho de assertividade de 41,75% e potencial de economia, evitando custos não previstos.

Entretanto, é importante reconhecer as limitações deste trabalho. A principal delas refere-se à adoção da distribuição triangular como base para as simulações, escolha motivada pela escassez de dados detalhados disponíveis. Embora tal distribuição seja adequada em cenários de incerteza com informações limitadas, ela não captura integralmente a variabilidade complexa de determinadas atividades, o que pode restringir a precisão dos resultados. Além disso, a utilização de dados secundários, ainda que públicos e provenientes de órgãos reguladores, impõe restrições quanto ao nível de detalhamento possível nos cronogramas analisados. Essas limitações, contudo, não invalidam os achados, mas reforçam a necessidade de cautela na sua generalização.

Outra limitação relevante foi a não inclusão de uma análise comparativa detalhada sobre a campanha de *pull out*, considerada uma das etapas mais importantes e críticas do descomissionamento, por envolver a desconexão e destinação dos *risers*. Essa atividade é indispensável para viabilizar a liberação da plataforma, permitindo a desancoragem e a saída da unidade da locação. Não foram considerados, por exemplo, cenários distintos quanto ao método de execução: (1) *pull out* com recolhimento integral da interligação no momento da operação (remoção completa dos trechos de *riser* e *flowline*); (2) *pull out* com recolhimento parcial, mediante remoção do *riser*, acompanhado ou não de parte da *flowline*, com permanência temporária do trecho remanescente no leito marinho para remoção futura; ou (3) *pull out* com deposição temporária do *riser* no leito marinho, para recolhimento posterior da interligação. Também não foram diferenciados aspectos como a execução em primeira ou segunda extremidade, a utilização de mergulho humano ou a adoção de cortes emersos dos *risers*. Essas variações operacionais poderiam influenciar o

tempo e a complexidade da atividade, o que indica um campo fértil para estudos futuros.

Adicionalmente, devido à impossibilidade de divulgação de dados internos da empresa, a pesquisa considerou apenas tarefas mãe, sem detalhar subtarefas específicas. Essa restrição limitou a granularidade da análise do cronograma.

Como sugestões para estudos futuros, recomenda-se a investigação de distribuições de probabilidade alternativas, como a beta ou a lognormal, que podem apresentar maior aderência ao comportamento real das atividades quando comparadas a triangular utilizada neste estudo. Para complementar essa análise, sugere-se comparar os resultados obtidos com outras metodologias quantitativas e de gestão de projetos, como PERT/CPM, análise de sensibilidade e análise de risco quantitativa. Essa abordagem comparativa possibilita verificar a consistência dos resultados, identificar variáveis críticas e fornecer uma visão mais abrangente e robusta para a tomada de decisão em projetos de descomissionamento de plataformas *offshore*.

Além disso, é relevante ampliar a base empírica por meio da aplicação da Simulação de Monte Carlo em um conjunto mais abrangente de projetos de descomissionamento, permitindo análises comparativas mais consistentes entre diferentes contextos operacionais. Outra possibilidade de avanço consiste no refinamento dos dados de entrada, incorporando séries históricas específicas de atividades semelhantes. Por exemplo, em campanhas de *pull out* seria pertinente utilizar exclusivamente dados de projetos nos quais se tenha realizado *pull out* de primeira ou de segunda, considerando ainda variáveis como a utilização de mergulho ou a adoção de corte emerso dos *risers*. Esse nível de detalhamento tende a aumentar a precisão das estimativas e fortalecer a robustez das análises.

Outra vertente promissora consiste em integrar a SMC com outras metodologias de gestão de riscos, como a Análise Multicritério (MCDA), o que poderia enriquecer ainda mais os processos decisórios. Por fim, estudos que considerem simultaneamente variáveis de prazo e custo poderiam gerar resultados ainda mais completos, oferecendo aos gestores uma visão integrada das incertezas que permeiam projetos dessa natureza.

Em síntese, a dissertação alcançou plenamente seus objetivos, trazendo evidências de que a Simulação de Monte Carlo é uma ferramenta válida e eficaz para estimar prazos em projetos de descomissionamento *offshore*. Os resultados obtidos reforçam a superioridade da abordagem probabilística em relação aos métodos

determinísticos, confirmam apontamentos teóricos já existentes e apresentam contribuições originais para o campo. Reconhecidas as limitações metodológicas, o trabalho ainda assim se mostra robusto e útil, tanto para o avanço acadêmico quanto para a prática profissional. Abre-se, portanto, um espaço fértil para a continuidade de pesquisas na área, consolidando a simulação probabilística como um recurso indispensável para a gestão de riscos em projetos de alta complexidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACE – ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING. Recommended Practice 32R-04: Estimating the Duration of Activities, 2012.

ABREU, F.; AMORIM, M. Gerenciamento de Riscos em Projetos de *Software* com Uso da Metodologia de Monte Carlo. **Revista de Engenharia de Software**, v. 12, p. 65–70, 2017.

ACEBES, F. *et al.* Project Scheduling under Uncertainty: Monte Carlo Simulation for Project Management. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 2, p. 180–190, 2013.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Descomissionamento de Instalações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/descomissionamento-de-instalacoes>. Acesso em: 02 abr. 2024.

AGUIAR, E. *et al.* Metodologia FEL (Front-End Loading) como Recurso para a Gestão de Projetos. **Revista TECIE**, v. 2, n. 1, p. 45-60, 2017.

AVILA, M. R.; JUNGLES, A. L. Aplicação do método PERT/CPM na construção civil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2013.

BARBOSA, R. *et al.* O Descomissionamento de Plataformas *Offshore* no Brasil: Inventário e Investimentos Previstos. **Revista Brasileira de Petróleo e Gás**, v. 12, p. 1–12, 2022.

BARBOZA, M. Análise Probabilística de Cronogramas em Projetos de Engenharia. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 6, n. 3, p. 45–55, 2017.

BARCAUI, A. B. *et al.* **Gerenciamento de Cronograma em Projetos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2019.

BENT, F.; HUMPHREYS, G. Monte Carlo Simulation in Project Management. **International Journal of Project Management**, v. 14, n. 2, p. 95–101, 1996.

BREALEY, R.; MYERS, S. **Principles of Corporate Finance**. 6ª ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

CÂNDIDO, C. *et al.* Gerenciamento de Cronogramas em Projetos: Conceitos e Práticas. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 31–42, 2012.

CARDOSO, R.; AMARAL, R. Simulação de Monte Carlo na Elaboração de Fluxo de Caixa Empresarial. **Revista Brasileira de Finanças**, v. 2, n. 1, p. 23–35, 2000.

CARVALHO, M. M.; RABECHINI JR, R. **Gestão de Projetos: Conhecimento, Habilidades e Melhores Práticas**. São Paulo: Atlas, 2018.

EVANS, J. R.; OLSON, D. L. **Introduction to Simulation and Risk Analysis**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998

FGV ENERGIA. **Ciclo de Vida das Plataformas de Petróleo**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2021.

GONÇALVES, J.; OLIVEIRA, L.; CARVALHO, R. Aplicação da Simulação de Monte Carlo na Rotação Econômica de Plantações de Eucalipto. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 4, p. 1340–1350, 2017.

HARRISON, J. **Monte Carlo Simulation and Project Management**. New York: Springer, 2010.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Coral-sol (Tubastraea spp.)**. Brasília: IBAMA, 2021. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 25 out. 2024.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Espécies Exóticas Marinhas: Tubastraea spp.** Brasília: IBAMA, 2022. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 25 out. 2024.

JÚNIOR, M. D. G.; DANTAS, M. J. P.; MACHADO, R. L. Aplicação da Simulação de Monte Carlo no Gerenciamento de Cronogramas. **Revista Gestão & Projetos**, v. 8, n. 1, p. 15–25, 2013.

KWAK, Y. H.; INGALL, L. Exploring Monte Carlo simulation applications for project management. **IEEE Engineering Management Review**, v. 37, n. 2, p. 83–92, 2009.

LAUDARES, J. Aplicação da Simulação de Monte Carlo na Análise de Riscos Quantitativos em Aquisições Logísticas. **Revista Brasileira de Logística**, v. 14, n. 1, p. 101–115, 2019.

LEAL, R.; OLIVEIRA, J. Aplicação da Simulação de Monte Carlo no Gerenciamento de Cronogramas. **Revista de Engenharia Civil**, v. 16, n. 3, p. 45–60, 2011.

LIMA, F. *et al.* Aplicação da Simulação de Monte Carlo em Análise de Viabilidade de Projetos. **Revista de Engenharia e Gestão**, v. 12, n. 2, p. 10–15, 2008.

MARTINS, P. G; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2005

METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo Method. **Journal of the American Statistical Association**, v. 44, n. 247, p. 335–341, 1949.

METROPOLIS, N. The Beginning of the Monte Carlo Method. **Los Alamos Science, Special Issue dedicated to Stan Ulam**, n. 15, p. 125–130, 1987.

MOREIRA, M. **Planejamento e Controle de Projetos: PERT/CPM**. São Paulo: Atlas, 2008.

NASCIMENTO, R.; WESLEI, P. Aplicação de Simulação de Monte Carlo em Cronogramas de Projetos. **Revista de Gestão de Projetos**, v. 8, n. 2, p. 10–20, 2019.

NASIR, S.; MCCABE, B.; HARTONO, R. Monte Carlo Simulation for Project Management. **International Journal of Project Management**, v. 21, n. 2, p. 1–5, 2003.

NICOLOSI, G.; *et al.* Produção *Offshore* no Brasil: Desafios e Perspectivas. **Revista Brasileira de Petróleo e Gás**, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2018.

OLIVEIRA, L.; SCHRAMM, J.; SCHRAMM, R. Simulação de Monte Carlo Aplicada a Cronogramas de Construção Civil. **Revista Engenharia & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 55–67, 2019.

PEREIRA, J. L.; OLUWAFEMI, A. O.; AKINSOLA, K. Decommissioning offshore oil and gas platforms: is the Rigs-to-Reefs program a more sustainable alternative? *Journal of Sustainable Development Law and Policy*, v. 14, n. 1, p. 45–62, 2025. Disponível em: <https://jsdlp.ogeesinstitute.edu.ng/index.php/jsdlp/article/view/163>. Acesso em: 20 out. 2025.

PMI – PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)**. 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017.

PRADO, D.; LADEIRA, A. **Gerenciamento de Projetos: Cronogramas, Escopo e Orçamento**. São Paulo: Atlas, 2014.

RATICK, S.; SCHWARZ, G. Monte Carlo Simulation. In: KITCHIN, R.; THRIFT, N. (Ed.). **International Encyclopedia of Human Geography**. Oxford: Elsevier, 2009. p. 175–184.

ROGERS, L. C. G. **Monte Carlo Valuation of American Options**. 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227376108_Monte_Carlo_Valuing_of_American_Options. Acesso em: 20 jul. 2024.

RUIVO, R. Descomissionamento de Plataformas *Offshore*: Aspectos Legais e Técnicos. **Revista de Engenharia Naval**, v. 5, n. 2, p. 25–40, 2001.

SCHUYLER, John R. **Risk and Decision Analysis in Projects**. 2. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2001.

TEIXEIRA, M. Simulação de Monte Carlo Aplicada ao PERT/CPM em Projetos. **Revista Gestão & Projetos**, v. 10, n. 2, p. 100–115, 2015.

TOWARD a sustainable decommissioning of offshore platforms in the oil and gas industry: a PESTLE analysis. *Sustainability*, v. 13, n. 11, p. 6266, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13116266>.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2007

US GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. **Schedule Best Practices: Cost, Schedule, and Technical Performance Integrated**, 2015.

VANHOUCKE, M. An Overview of Recent Research Results and Future Research Avenues Using Simulation Studies in Project Management. **International Scholarly Research Notices**, 2013

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2000

ZAWAWI, N. A.; RASHID, R.; MAJID, T. A.; KADIR, A. A. Environmental sustainability and efficiency of offshore platform decommissioning: a review. *Sustainability*, v. 15, n. 17, p. 12757, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151712757>.

ZUCCOLOTTO, E.; COLODETI, M. F. Simulação de Monte Carlo: Teoria e Aplicações. **Revista Brasileira de Estatística Aplicada**, v. 3, n. 2, p. 45–60, 2005.